

تحديد تراكيز اليورانيوم المنضب في بقايا (مخلفات) معدات
عسكرية في مواقع معينة من جنوب العراق باستخدام
كاشفي CR-39 و HPGe

رسالة تقدم بها
عامر حسن علي الجبوري

الى
مجلس كلية العلوم / جامعة الموصل
وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير في الفيزياء

باشراف
الدكتور منيب عادل خليل إبراهيم
أستاذ مساعد



القرآن الكريم

بسم الله الرحمن الرحيم

((وَمِنَ النَّاسِ مَنْ يُعْجِبُكَ قَوْلُهُ فِي الْحَيَاةِ الدُّنْيَا وَيُشْهَدُ اللَّهُ
عَلَىٰ مَا فِي قَلْبِهِ وَهُوَ أَلَدُّ الْخِصَامِ) (*) وَإِذَا تَوَلَّىٰ سَعَىٰ فِي
الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ وَالنَّسْلَ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ
الْفُسَادَ))

صدق الله العظيم

الآية (204-205)

سورة البقرة

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين ، والصلاة والسلام على سيد
المرسلين وشفيع المؤمنين محمد بن عبد الله (صلى الله عليه وسلم)
وعلى آله وصحبه ومن آله إلى يوم

الدين ... وبعد

يسرني ان اتقدم بالشكر الجزيل الى عمادة كلية العلوم – جامعة
الموصل لما وفرتة من امكانات ساعدت في انجاز هذه الرسالة ..
كما يسرني ان اتقدم بوافر الشكر والتقدير الى (الاستاذ المساعد
الدكتور منيب عادل خليل) المشرف على هذه الرسالة اذ اولاهها عناية خاصة
وتوجيهات علمية قيمة فجزاه الله عني خير الجزاء ...
واتقدم بالشكر الجزيل الى اساتذة قسم الفيزياء وكذلك اشكر الدكتور
سعيد حسن سعيد (كلية التربية / قسم الفيزياء) لما قدموه لي من توجيهات
ومراجع كان لها الاثر الاكبر في اثارة جوانب عديدة من هذه الرسالة .
واقدم شكري لزملائي من طلبة الدراسات العليا والسيد سليمان
احمد علي لما قدموه من تعاون اخوي ساعد في إنجاز هذه الرسالة .
ومن الوفاء ان اتقدم بالشكر الجزيل الى العاملين في مكتبة قسم
الفيزياء والمكتبة المركزية في جامعة الموصل .

الباحث
عامر حسن

المفص

تم في هذا البحث دراسة (25) عينة موزعة على خمسة مناطق من جنوب العراق قريبة من المنطقة منزوعة السلاح بين العراق والكويت وصولاً إلى السعودية، والمناطق التي تم دراستها شملت (حقل الرميّله الشمالي ومنطقة مفرق طريق صفوان أم قصر وكديره العظمى ومطار الشامية والمنطقة بين كديره العظمى ومحطة خورناج ومنطقة محطة خورناج)، ان هدف الدراسة الحالية كان تحديد تراكيز اليورانيوم المنضب في تلك العينات التي تمثلت في مزيج من بقايا الدبابات والمعدات العسكرية واجزاء من قذائف اليورانيوم المنضب والاتربة المتراكمة عليها والقريبة منها. وقد استخدمت تقنيتي كاشف الأثر النووي CR- 39 وكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe. لقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها زيادة في تراكيز اليورانيوم المنضب تراوحت بين 20 - 8.36 ppm عن الحد الطبيعي البالغ 0.2 - 1.2 ppm. وهذه الزيادة يمكن ان تعزى إلى استخدام قذائف حاوية على اليورانيوم المنضب (قذائف إختراقية) كما أظهرت القياسات ايضاً ان نتائج التقنيتين كانت متقاربة مما يشير إلى إمكانية استخدام هاتين التقنيتين في الكشف عن التراكيز الضئيلة للعناصر المشعة .

المحتويات

| الصفحة | الموضوع | التسلسل |
|--------|---|-----------|
| 1 | الفصل الاول : التلوث باليورانيوم المنضب | |
| 1 | المقدمة | 1 . 1 |
| 2 | التلوث بأشعاع ذخيرة اليورانيوم المنضب وسمومها | 2 . 1 |
| 10 | اليورانيوم | 3 . 1 |
| 10 | خواص اليورانيوم الطبيعي | 1 . 3 . 1 |
| 11 | اليورانيوم المنضب | 2 . 3 . 1 |
| 12 | التعرض لليورانيوم واليورانيوم المنضب | 3 . 3 . 1 |
| 13 | منفذ (مدخل) اليورانيوم المنضب | 4 . 3 . 1 |
| 13 | امتصاص اليورانيوم المنضب | 5 . 3 . 1 |
| 14 | غاز الرادون | 4 . 1 |
| 15 | الكشف عن غاز الرادون | 1 . 4 . 1 |
| 15 | المخاطر الصحية للرادون ووليداته | 2 . 4 . 1 |
| 17 | فوائد غاز الرادون واستخداماته | 3 . 4 . 1 |
| 18 | طرق حساب تراكيز الرادون | 4 . 4 . 1 |
| 19 | الهدف من البحث | 5 . 4 . 1 |
| 20 | الفصل الثاني : الدراسات السابقة وكواشف الاثر النووي | |
| 20 | استعراض الدراسات السابقة لاستخدام كاشف CR - 39 | 1 . 2 |
| 24 | استعراض الدراسات السابقة لطريقة تحليل طيف اشعة كاما | 2 . 2 |
| 28 | كواشف الاثر النووي الصلبة | 3 . 2 |
| 30 | انواع كواشف الاثر النووي الصلبة | 1 . 3 . 2 |
| 32 | الكاشف CR-39 | |

| | | |
|----|---|-----------|
| 33 | كيفية تكون الاثر | 2 . 3 . 2 |
| 36 | الفصل الثالث : كواشف أشعة كاما | |
| 36 | تفاعل اشعة كاما مع المادة | 1 . 3 |
| 36 | كواشف اشعة كاما | 2 . 3 |
| 37 | كواشف اشباه الموصلات | 3 . 3 |
| 38 | القدرة التحليلية لكواشف اشباه الموصلات | 4 . 3 |
| 39 | كواشف الجرمانيوم عالية النقاوة | 5 . 3 |
| 41 | محاسن ومساوئ كواشف اشباه الموصلات | 6 . 3 |
| 42 | الفصل الرابع : الجزء العملي والحسابات | |
| 42 | عملية جمع وتحضير العينات | 1 . 4 |
| 48 | التحليل والقياس بتقنية كاشف CR-39 | 2 . 4 |
| 50 | الحسابات | 1 . 2 . 4 |
| 53 | القياسات بتقنية تحليل طيف اشعة كاما واستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة | 3 . 4 |
| 55 | معايرة الطاقة | 1 . 3 . 4 |
| 55 | حساب المساحة الحقيقية تحت الذروة | 2 . 3 . 4 |
| 56 | تحديد تراكيز اليورانيوم المنضب في العينات | 3 . 3 . 4 |
| 57 | الفصل الخامس : النتائج والمناقشة | |
| 71 | الاستنتاجات | |
| 71 | المقترحات | |
| 72 | المصادر | |

قائمة الجداول

| الصفحة | عنوان الجدول | التسلسل |
|--------|---|---------|
| 10 | خواص نظائر اليورانيوم الطبيعي | 1-1 |
| 11 | نواتج عمليات التخصيب | 2-1 |
| 12 | خواص نظائر اليورانيوم في اليورانيوم المنضب | 3-1 |
| 58 | رموز العينات وتوزيعها على المناطق المدروسة وكثافة الاثار وتركيز الرادون في الحيز الهوائي وداخل العينات | 1-5 |
| 60 | الفاعلية الاشعاعية لغاز الرادون ومحتوى الراديوم الفعال وعدد ذرات اليورانيوم ووزنه وتركيزه في العينات | 2- 5 |
| 62 | المساحة تحت الذرات لليورانيوم U^{238} والثوريوم Th^{232} وتركيز اليورانيوم في العينات ونسبة اليورانيوم إلى الثوريوم | 3-5 |
| 63 | مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها لكلا التقنيتين | 4-5 |

قائمة الأشكال

| الصفحة | عنوان الشكل | التسلسل |
|--------|--|---------|
| 34 | وخزة الانفجار الايوني في تكوين الاثار في المواد الصلبة غير العضوية | 1-2 |
| 35 | تاثير الاشعاع على السسل البوليمرية | 2-2 |
| 49 | انبوبة الاختبار المستخدمة في الدراسة | 1- 4 |
| 53 | منظومة تحليل طيف اشعة كاما | 2- 4 |
| 65 | طيف اشعة كاما العائد للخلفية الاشعاعية داخل المختبر | 1- 5 |
| 66 | طيف اشعة كاما الباتج عن العينة القياسية | 2-5 |
| 67 | طيف اشعة كاما العائد للعينة W | 3-5 |
| 68 | طيف اشعة كاما العائد للعينة Q | 4-5 |
| 69 | طيف اشعة كاما العائد للعينة S | 5-5 |
| 70 | طيف اشعة كاما للعينة W مع طيف اشعة كاما للخلفية الاشعاعية | 6-5 |

الفصل الأول
التلوّث باليورانيوم
المنضب

الفصل الأول

التلوث باليورانيوم المنضب

Introduction

1.1 المقدمة

استخدمت الولايات المتحدة الأمريكية وبريطانيا، وجربتا لأول مرة في حرب الخليج الثانية سنة 1991 أسلحة وأعتدة حربية حديثة محرمة دولياً بوصفها من أسلحة الدمار الشامل لاحتوائها على مادة اليورانيوم المنضب أو المستنفد (Depleted Uranium) المشعة والسامة كيميائياً، لقد فتكت هذه الأسلحة بالآلاف من العسكريين والمدنيين وأحدثت كارثة إنسانية وبيئية تكشفت آثارها منذ الأشهر الأولى بعد الحرب وما يزال يتكشف المزيد منها وإن لم تتحدد بعد أبعاد تأثيرها بالكامل.

إن الوفرة النظائرية لليورانيوم الطبيعي هي كالآتي U^{238} 99.28% ، U^{235} 0.72% ، U^{234} 0.006%. علماً أن النظير U^{234} يهمل لقلة تركيزه وإن الفرق الرئيس بين اليورانيوم الطبيعي والمنضب هو فرق الوفرة النظائرية، ففي اليورانيوم المنضب تتغير النسب كالآتي U^{238} 99.8% ، U^{235} 0.2% ، U^{234} 0.001% لذلك فإن التحديد أو الكشف عن هذه النسب يشير إلى أن القذائف المستخدمة تحتوي على اليورانيوم المنضب D U (who, 2001).

وعلى الرغم من مضي عشر سنوات على تلك الحرب فإن موضوع اليورانيوم المنضب لم يحظ بالاهتمام المطلوب، فلم يتم حتى الآن كشف النقاب كلياً عن النتائج المباشرة وغير المباشرة لاستخدام ذخيرة اليورانيوم وأبعاد التلوث الناجم عنها. وثمة من يزعم من المسؤولين في المنطقة بأن بلادهم خالية من التلوث تماماً ويواصلون تكتمهم على حقيقة ما حصل على العكس مما تتطلبه مصالح شعوبهم والمستقبل الصحي لأجيالهم، ولم تتجز حتى يومنا هذا دراسة شاملة لنتائج الكارثة على نحو جدي ومتكامل ولم تتخذ الإجراءات اللازمة للحد منها الأمر الذي يعزز الانطباع بأن ثمة تجاهلاً وإهمالاً متعمدين حيال ما يتعرض له المواطنون على الرغم من هول ما حدث وعلى الرغم من تحذيرات العديد من العلماء والمختصين المدعومة بنتائج أولية لدراسات ميدانية علمية هامة تؤكد عدم اقتصار الأضرار على صحة وحياة الجيل الحالي، وإنما ستنقل آثارها المباشرة وغير المباشرة إلى الأجيال القادمة.

لقد أكد العديد من العلماء والخبراء المعنيين بأن هذا النوع من اليورانيوم هو من النفايات النووية الناتجة عن عملية تخصيب اليورانيوم، وهو مشع وسام كيميائياً إذ يولد عند انفجار ذخيرته التي تتميز باختراقية كبيرة، منتوجاً بالغ السمية وينتقل على شكل غيمة إشعاعية إلى عشرات الكيلومترات. وتقيد التقارير العلمية والعسكرية أن معضلة استخدام ذخيرة اليورانيوم المنضب تكمن في استمرار آثارها لملايين السنين حيث تشكل آثار التلوث الناجمة عن اختلاط اليورانيوم بالتربة

كارثة بيئية بعضها أني والبعض الآخر يظهر في المستقبل. فباستثناء الأثر الموضوعي السمي والإشعاعي لليورانيوم المنضب الذي يحصل عند انفجار ذخيرته، فإن جزيئاته تنتشر عن طريق الرياح والمياه الجوفية لتغطي مساحات شاسعة تتجاوز الرقعة الجغرافية لأرض المعركة.

2.1 التلوث بإشعاع ذخيرة اليورانيوم المنضب وسمومها

بعد ثمانية أعوام من بداية حرب الخليج الثانية اضطرت وزارة الدفاع الأمريكية إلى الكشف عن خارطة مفصلة للمناطق التي تعرضت للهجوم بالقذائف المضادة للدروع والمطعمة باليورانيوم المنضب التي أطلقتها الدبابات والطائرات الأمريكية، وتشمل منطقة انتشار اليورانيوم المنضب في هذه الخارطة التي نشرتها جريدة (Christian Science Monitor) حدود كل من العراق لتصل الكويت والسعودية (Fahey, 2000). إذ تمتد من مناطق جنوب البصرة باتجاه حقول الرميثة النفطية وصولاً إلى حدود السعودية ثم تمتد غرباً من موقع خرنج الذي يقع إلى الشمال بعيداً عن منطقة حفر الباطن السعودية. ولا تشمل الخريطة جنوب الناصرية وغرب البصرة وغرب الكويت على الرغم من استخدام قوات الحلفاء لقذائف اليورانيوم المنضب فيها، وقد انتقد خبراء المركز القومي لموارد حرب الخليج (وهو مركز يضم مجموعات من المحاربين القدامى في واشنطن) واضعي الخارطة لأنهم لم يضمنوا فيها مواقع فرق مدرعة أمريكية أخرى ومواقع إطلاق قذائف اليورانيوم من قبل القوات البريطانية. وكان المركز قد أعلن في عام 1998 أن نحو 400 ألف محارب تعرضوا لإشعاعات اليورانيوم واعترف الناطق باسم مكتب أعراض حرب الخليج في البنتاباغون الأمريكي، بأن الخارطة التي صدرت أساساً لعرضها أمام لجنة حكومية خاصة ليست كاملة وأنها لا تقدم لوحة مفصلة عن مواقع انتشار اليورانيوم المنضب (Al-Azzawi *et al.*, 1999).

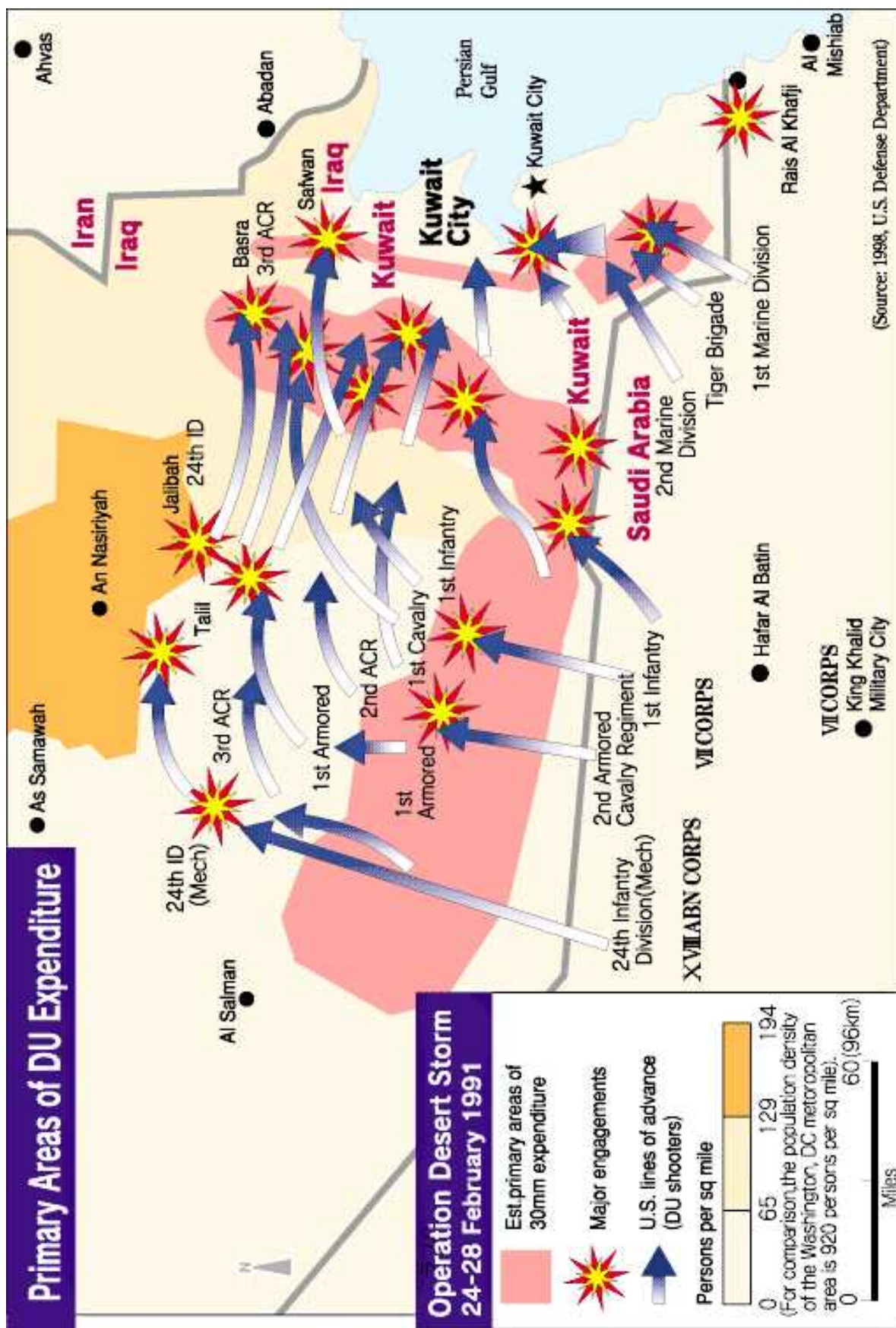
وبينما كان العسكريون الأمريكيون يتفكرون طيلة الفترة المنصرمة بـ"الحرب النظيفة" التي شنوها ضد العراق مدّعين بأنها لم تعرض المدنيين للأخطار، فقد فندت مزاعمهم العديد من البحوث والدراسات العلمية والطبية والعسكرية وعشرات التقارير الصحفية الميدانية التي لم تكشف فقط عن الدمار والخسائر البشرية الجسيمة التي سببتها الحرب، بل أعطت مؤشرات واضحة لما خلفته من أضرار بيئية وصحية خطيرة. ومع أن العمليات الحربية كانت عموماً في منطقة البادية الواقعة بين العراق والكويت والسعودية وهي مناطق قليلة السكان نسبياً، إلا أن التقارير تؤكد بأن جزيئات اليورانيوم قد وجدت طريقها لتتراكم بكميات كبيرة في مدن وبلدات وقرى ومزارع تبعد عنها عشرات الكيلومترات وهي متراكمة بكميات كبيرة وما انفكت تفعل فعلها المدمر، ففي بادئ الأمر قدرت المصادر العسكرية الأمريكية أن قواتها خلفت نحو 40 طناً لحد الآن من اليورانيوم المشع والسام في مناطق شاسعة من الكويت والعراق لكنها عقب تشكيك العلماء والعسكريين المختصين بهذه

الكمية رفعت الرقم إلى 300 طن وهو رقم أكدته (Busby, 2001)، بينما قدرت كل من منظمة السلام الأخضر (Greenpeace) ومركز التوثيق



الخريطة (1-1) توضح عمليات حرب الخليج الثانية (عاصفة الصحراء) للفترة من 24 إلى 28 شباط 1991 (Fahey, 2000).

الهولندي (Stichting LAKA) بان الكمية لا تقل عن (700-800) طن. وأكد (المقادي، 2003) بان مساحة الحرب التي جرت عليها العمليات القتالية قد غطيت برمتها بالمواد المشعة والسامة، ونبه ديوراكوفيتش وهو طبيب وخبير بالطب النووي الى أن الكميات الكبيرة من اليورانيوم المنضب التي تركت في العراق سيكون لها حتماً انعكاسات بيئية على ارض العراق وبفعل حركه الرياح ونعومة غبار الصحراء فإن آثاره ستتنتقل إلى مئات الأميال لتشمل الكويت والسعودية وقطر علماً أن الباحث اعتمد رقم 300 طن في تقديراته لكمية اليورانيوم المنضب المستخدمة (Fahey, 2000).



الخريطة (2-1) توضح المناطق التي تعرضت للقصف بذخائر اليورانيوم المنضب (Fahey, 2000)

لقد أثبتت الدراسات التي أجريت بعد انتهاء الحرب في المناطق التي تعرضت لاستخدام الذخيرة المذكورة، أن نسبة النشاط الإشعاعي بلغت 270 mrad/h أي ما يزيد عن 30 ضعفاً لأقصى ما يمكن أن يتعرض إليه العاملون في الصناعة النووية وهو ما حول مناطق شاسعة على بعد عشرات ومئات الكيلومترات إلى بيئة ملوثة ونشطة إشعاعياً نتيجة للأسلحة المحطمة والألغام والذخيرة الأخرى المتفجرة وغير المتفجرة والملوثات الكيميائية فضلاً عن الركام النشط إشعاعياً والمتناثر في الصحراء العراقية وبالقرب من الحدود السعودية والكويتية (Saleh and Meqwar, 1995). وما تزال الأنقاض الملوثة بالإشعاع متراكمة في الصحراء وحول البصرة والكثير من الأطفال الأبرياء يلعبون على مقربة منها ويقومون بتفكيك بقايا أجزائها. لقد أشارت العديد من التقارير إلى أن التلوث قد طال مناطق جنوب العراق والكويت والسعودية والصحراء العربية بآثار ذخيرة اليورانيوم المنضب الخطرة. وحيال هذا الواقع نبه علماء وخبراء أجانب إلى تعرض التربة والمياه وجميع المواد الغذائية للتلوث. إذ ذكرت مؤسسة (Stichting LAKA) بقولها: "إن النوع الجديد من الموت البطيء الذي نقلته أكثر الحروب تسميماً في التاريخ يشمل ما يقدر بـ 800 طن من غبار اليورانيوم المنضب المستمر في الهبوب عبر شبه الجزيرة العربية لعقود عدة في المستقبل تكفي لجعل هذه العملية معروفة جيداً في السجلات الطبية" (Busby, 2001).

وكانت هيئة الطاقة الذرية البريطانية (UKAEA) قد حذرت وزارة الدفاع البريطانية من مغبة استخدام ذخيرة اليورانيوم المنضب في حرب الخليج مركزة بشكل خاص إلى تأثير الأطفال بالإشعاع تأثيراً قوياً عبر الغبار السام الذي ستطلقه والذي سيسبب لهم السرطان مهدداً حياة من يلعبون بالقرب من العجلات المحترقة وأولئك الذين ينظرون إليها أيضاً. وقد أكد ذلك العالم البريطاني ما يكل كلارك الخبير بأبحاث الطاقة الإشعاعية والإشعاع النووي بقوله: "كنا قد حذرنا الحكومة البريطانية من خطورة وفعالية اليورانيوم كمادة مشعة، إذ يؤدي استنشاقها إلى تأثير بالغ على الرئتين بسبب إشعاعات تلك المادة. ووجدنا في النهاية بأن لليورانيوم تأثيراً كيميائياً أكثر من كونه تأثيراً إشعاعياً فاستنشاق كمية كافية من غبار اليورانيوم يحدث إصابات كيميائية بالغة للكيتين" (Lopez, 2000).

وعلى إثر تصاعد شكاوى العسكريين المشاركين بالحرب من أعراض غامضة سميت "متلازمة حرب الخليج"، اعترفت الوكالة النووية للدفاع (Defense Nuclear Agency) التابعة للبنتاغون قائلة: "علينا الاستعداد لمواجهة مشكلة قوية" (Fahey, 2000). وعلى الرغم من كل ذلك

لم تقم الحكومة العراقية وحكومات قوات الحلفاء بتبنيه سكان تلك المناطق وتحذير الفلاحين من الزراعة ورعي الأبقار والمواشي في تلك المناطق الملوثة وكذلك تحذير المواطنين عموماً من مخاطر تناول المنتجات الغذائية والمحاصيل الزراعية لتلك المناطق الملوثة بالإشعاع. وفيما كان الباحثون بمخاطر استخدام اليورانيوم المنضب أكثر قلقاً وحرصاً من تلك الحكومات. فقد كشف نيك كوهين النقاب عن التقرير السري الذي وضعته (UKAEA) والذي يشير إلى وجود ما يكفي من اليورانيوم المنضب في الكويت وجنوبي العراق ليسبب ما يحتمل أن يهلك نصف مليون نسمة" (Al-Azzawi, 1999). ووجهت صحيفة نيويورك تايمز سنة 1992 تحذيراً بهذا الشأن، إذ كتب أريك هوسكينس المتخصص بالشؤون العلمية قائلاً: "إن بقايا قذائف اليورانيوم الأمريكية ما تزال تفتك بأرواح الأطفال العراقيين" (CHR, 2000). وكان البروفيسور الدكتور سيغفرت هو رست غونتر وهو عالم وطبيب أطفال أول من أشار علانية إلى جدية مخاطر مخلفات اليورانيوم المنضب على سكان المنطقة ولا سيما في السعودية والكويت فضلاً عن العراق (Fahey, 2000).

وحصل فعلاً ما نبّه إليه العلماء وحذروا من مخاطره، فقد وصفت عالمة الفيزياء الأسترالية هيلين كولديكوت حرب الخليج الثانية بالمجزرة وقالت: "لقد عنيت السلطات الأمريكية عناية شديدة بإخفاء حجم المجزرة" (المقدادي، 2003)، فيما أكدت تقارير أخرى عسكرية أن الآلاف من الجنود العراقيين لقوا مصرعهم مباشرة بتلك القذائف أو نتيجة التعرض لها. وقدرت المصادر أن تلك الذخائر سببت في الأشهر الثمانية الأولى من سنة 1991 موت زهاء 50 ألف طفل عراقي نتيجة إصابتهم بأمراض مختلفة نجمت عنها أمراض مختلفة منها السرطان وعجز الكلية وأمراض داخلية أخرى لم تكن معروفة سابقاً (Saleh and Meqwar, 1995). إن هذا أدى إلى زيادة تصاعدية في نسبة الإصابات السرطانية المختلفة نتيجة لتلوث مساحات شاسعة من جنوب العراق بإشعاعات اليورانيوم المنضب لاسيما بين العسكريين وبخاصة في مجال إصابات الغدد الليمفاوية وسرطان الدم. فقد نشرت صحيفة "الانديبندنت"، عام 1999 سلسلة مقالات حول الأدلة المتزايدة على الصلة بين تقشي مرض السرطان في العراق واستخدام قذائف اليورانيوم المنضب معتمدة على تقارير أعدها العديد من العلماء والمهتمين بهذا الموضوع مما زاد من قناعة المرء بأن التلوث باليورانيوم المنضب طال البيئة ومعظم السكان في العراق فضلاً عن أجزاء من الكويت (CHR, 2000).

واصبح من المؤكد بأن سنوات طويلة سوف تمر قبل أن تتضح أبعاد الأضرار والأخطار التي أصابت البيئة في الكويت ومنطقة الخليج العربي لاسيما وان العلماء والمختصين يتوقعون مخاطر أعظم مؤكدين بان التلوث الإشعاعي الناتج عن ذخيرة اليورانيوم المنضب قادر على البقاء في الأراضي التي يلوثها لفترة تقدر بحدود 4 مليار سنة

(Al-Azzawi *etal.*, 1999). ولعل ما قاله الباحث الدكتور جون دانكر وهو طبيب واحد ابرز الباحثين البيئيين في برنامج الأمم المتحدة لمكافحة التلوث ويدير جمعية لمساعدة ضحايا التلوث في العالم، من أن متوسطي الأعمار سيكونون الأكثر تأثراً بانتشار التلوث في هذه المنطقة من الناحية الديموغرافية مما ينطوي على دلالة بالغة وبخاصة ان الإصابات السرطانية والتشوهات الولادية والوفيات الناجمة عن التلوث باليورانيوم المذكور قد طالت لحد الآن مئات الآلاف من السكان. وإدراكا منه لحجم المخاطر البيئية والصحية والحياتية الراهنة والمستقبلية وأبعادها الكارثية وبلاستناد إلى بحوث ودراسات ميدانية عديدة أجراها في العراق أوصلته إلى نتائج خطيرة وجه العالم وطبيب الأطفال غونتر نداءات ملحة لإجراء دراسات واسعة ومكثفة في العراق للوقوف على حجم الأضرار الرهيبة التي سببها استخدام ذخيرة اليورانيوم على السكان المدنيين وخاصة الأطفال (Fahey, 2000).

وبعد توفر الكثير من البراهين والقرائن عن الأضرار الجسيمة التي لحقت بآلاف المواطنين العراقيين، فقد أعرب العالمان في ميدان دراسة آثار اليورانيوم المنضب هاري شارما الأستاذ في الكيمياء ودونغ روكك الباحث في الهندسة البيئية والفيزياء النووية، في أواخر عام 1999 أمام لجنة الدفاع التابعة للبرلمان البريطاني عن أملهما بتوفير رعاية طبية لجميع الأشخاص الذين تعرضوا لتأثير اليورانيوم المنضب وطالبا بضرورة تنقية الأماكن المحيطة من كل آثاره كما وجها نداءً لحظر استخدام قذائف اليورانيوم المنضب (Al-Azzawi *etal.*, 1999).

وفي مطلع العام الجاري دعا السير تاونسند السياسي البريطاني ومدير مجلس تحسين التفاهم العربي البريطاني (CAABU)، الحكومة البريطانية الى أن تعلن فوراً أنها ستجري تحقيقاً شاملاً وجدياً في التأثيرات الناجمة عن استخدام اليورانيوم المنضب وربما بالتعاون مع بلدان أخرى كالولايات المتحدة وان تجري بالتعاون مع منظمة الصحة العالمية تحقيقاً دقيقاً في أية علاقة محتملة بين نقشي مرض السرطان في منطقة الخليج واستخدام اليورانيوم المنضب من قبل القوات البريطانية مؤكداً بان خطوة كهذه من شأنها أن تعطي للسياسة الخارجية البريطانية البعد الأخلاقي الذي وعدت به الحكومة مشيراً إلى العديد من المصادر التي كشفت عن الصلة بين انتشار الأمراض السرطانية واستخدام ذخيرة اليورانيوم المنضب (المقدادي، 2003). وقد أبدى تاونسند استغرابه من أن وزيرة التنمية العالمية في الحكومة البريطانية السيدة كلير شورت غير ملمة لحد الآن بتأثيرات استخدام الأسلحة التي تحتوي على اليورانيوم المنضب. واعترفت الوزيرة في رسالة له قائلة: "نحن في الواقع لا نجري أية أبحاث في التأثيرات الصحية للقذائف التي زودت رؤوسها باليورانيوم المنضب ولا علم

لنا بمثل هذه الأبحاث"، ومع أن السير تاونسند لم يدين استخدام القوات العسكرية الأميركية والبريطانية لهذه الذخيرة والتي شكلت جريمة بحق البيئة البشرية والطبيعية وتستحق الإدانة الواسعة بوصفها مواد محرمة دولياً، لكن دعوته الحريصة الى الكشف عن تأثيرات استخدام هذه الذخيرة في منطقتنا تستحق الثناء والتقدير إذ جاءت داعمة لمطالبه العالمين شارما وهوكك وغيرهما.

وعقب زيارة ميدانية للعراق في نيسان 2000 دعا الكاهن الفرنسي جان ماري بنجامين إلى تنظيم مؤتمر دولي وإرسال بعثات علمية الى العراق لدراسة آثار ذخائر اليورانيوم المنضب بعد أن شاهد في المستشفيات العراقية أعداداً كبيرة من الأطفال المولودين بتشوهات خلقية ومصابين بسرطان الدم. أما في حرم جامعة جنيف وأمام مقر الأمم المتحدة طالبت منظمات غير حكومية أثناء انعقاد الدورة السنوية للجنة حقوق الإنسان التابعة للأمم المتحدة، بدراسة آثار استعمال اليورانيوم المنضب على مستقبل الشعب العراقي محذرة من أن نسله يواجه تشوهات في الجينات الوراثية مستعينة بتأكيدات أطباء وعلماء وخبراء أجانب في هذا المضمار (Fahey, 2000).

إن مهمة الكشف عن تأثيرات استخدام ذخيرة اليورانيوم المنضب في المنطقة العربية ومعالجتها بقدر ما هي مهمة وطنية ملحة، إلا انه لا يمكن لبلد واحد مهما امتلك من إمكانيات وقدرات ولا حتى الوكالة الدولية لمكافحة السرطان التابعة لمنظمة الصحة العالمية ولا غيرها إنجازها لوحدها، كما أن التأخر في معالجتها طيلة عقد كامل من الزمن ضاعف من تعقيد إنجاز هذه المهمة، لذا فإن كل يوم يمر يزيد من التعقيدات ويفاقم من أخطار التلوث وما ينجم عنه ويزيد من صعوبة مهمة الأطباء في معالجة المصابين. وإذا ما بوشر بالمهمة فإن العمل سيجري في مواقع ملوثة تلوثاً إشعاعياً وسمياً واسعاً وخطيراً، وهذا بحد ذاته يخلق مشاكل وصعوبات وعراقيل جمة إضافية أمام إنجاز المهمة وبخاصة أمام القائمين بها. واستناداً إلى دانييل فاهي (Fahey, 2000) المسؤول حالياً عن الأبحاث في المركز الوطني الأمريكي لمعلومات حرب الخليج والذي أجرى دراسة مكثفة على اليورانيوم المنضب أكدت أن التعرض للتلوث الإشعاعي الناتج عن اليورانيوم المنضب يشكل خطراً على الجنود وعلى السكان المدنيين ما لم يكونوا متدربين ومجهزين بالملابس الواقية.

إن تنظيف المنطقة من اليورانيوم المنضب ستكون عملية صعبة جداً ومكلفة، إذ يجب تغليف جميع العربات العسكرية الملوثة بغلاف واقٍ من القماش الثقيل tarpaulin ثم تؤخذ الى أماكن خاصة لتخليصها من التلوث. كما يجب إزالة الطبقة السطحية من التربة الملوثة بعمق قدم تقريباً إذ توضع في حاويات ليتم التخلص منها بشكل مناسب وهذا يشمل القذائف التي أخطأت أهدافها إذ يجب الكشف عنها والتخلص منها بشكل مناسب، وفي هذا المضمار أشارت تقارير الى

أن نحو 90 قنبلة من القنابل التي تساقطت أثناء الحرب أخطأت أهدافها، وقال خبير عسكري أمريكي إن ما لا يقل عن 600 قنبلة وصاروخ وقذيفة مدفعية أسقطت أو أُطلقت يومياً أثناء حرب الخليج ولم تنفجر وتشكل خطراً مستمراً في مكان ما من منطقة القتال السابقة. وإدراكاً للمخاطر، دعا (المقادي، 2003) الى وجوب تخليص المناطق التي استخدمت فيها ذخائر اليورانيوم المنضب مهما كانت كميتها من التلوث وكذلك تخليصها من جميع القذائف الملوثة وإلا سيبقى التلوث الى الأبد محذراً من أن عدم تزويد العاملين في هذه العملية بالتجهيزات الوقائية الكافية والتدريب المناسب سيعرضهم لمشاكل صحية خطيرة وكل هذا يشكل عقبات كبيرة إضافية سواء من حيث ضرورة توفير المستلزمات الخاصة المطلوبة والتي من دونها لا يمكن العمل إطلاقاً لكونه مجازفة خطيرة على حياة العاملين ولا بد من مطالبة الحكومتين الأمريكية والبريطانية بأن تقوم وزارتا دفاعهما بتقديم الخرائط الكاملة والمفصلة عن مواقع استخدام ذخيرة اليورانيوم ومناطق التلوث بها والعمل على إرغام الحكومتين على تحمل القسط الأكبر من الأموال المطلوبة لتوفير الأجهزة والمعدات والكوادر العلمية والفنية وغيرها من الأمور اللازمة لتنفيذ مهمة الكشف عن أضرار السلاح الذي استخدمته قواتهما وكذلك لمعالجة المتضررين وإصلاح ما لحق بالبيئة من خراب ودمار شاملين (CHR, 2000).

Uranium

3.1 اليورانيوم

اليورانيوم معدن طبيعي ثقيل جداً ذو لون فضي رمادي براق كثافته عالية تصل الى 18.9 gm/cm^3 وهو مصدر مشع متواجد في القشرة الأرضية وفي اغلب الصخور بنسبة $3 ppm (gm/ton)$ ومتواجد أيضاً بكميات قليلة في رواسب التربة والمياه والنبات والحيوانات وجسم الإنسان، وتحتوي مياه البحر على نسبة $3 ppb (mg/ton)$ منه. وكمعدل فان جسم الإنسان يحتوي على $g \sim 90$ تقريباً من اليورانيوم عن طريق التناول الطبيعي للماء والطعام والهواء. حوالي 66 % منه موجود في الهيكل العظمي، و 16 % في الكبد، و 8 % في الكليتين، و 10 % في بقية أنسجة الجسم (UIC, 2002).

أكتشف معدن اليورانيوم عام 1789 من قبل الكيميائي الألماني Martin Klaproth في معدن يدعى Pitch Blende (معدن اليورانيت الحاوي على اليورانيوم والرااديوم). وقد سمي بهذا الاسم بعد ثمانية أعوام من اكتشاف كوكب أورانوس (Wise Uranium Project, 2002)، والرمز الكيميائي له U ودرجة انصهاره $1132^{\circ}C$.

يتكون اليورانيوم الطبيعي من ثلاثة نظائر كلها مشعة وهي U^{234} , U^{235} , U^{238} ، وتعد النوى الأم لسلسلتين من الانحلالات المستقلة، إذ أن U^{234} ناتج من انحلال سلسلة U^{238} .

1.3.1 خواص اليورانيوم الطبيعي

الجدول (1-1) يوضح بعض خواص اليورانيوم الطبيعي ونسب تركيبه النظائري (WHO, 2001).

الجدول (1-1) خواص نظائر اليورانيوم الطبيعي

| Isotopes Properties | U^{234} | U^{235} | U^{238} | Total |
|----------------------------------|----------------|-------------------------|-----------------------|----------|
| Half Life | 244500 Yrs | 703.8×10^6 Yrs | 4.5×10^9 Yrs | _____ |
| Specific Activity | 231.3 MBq / gm | 80011 Bq / gm | 12455 Bq / gm | _____ |
| Atom % | 0.0054 % | 0.72 % | 99.275 % | 100 % |
| Weight % | 0.0053 % | 0.74 % | 99.284 % | 100 % |
| Activity % | 48.9 % | 2.2 % | 48.9 % | 100 % |
| Activity in 1gm U. natural | 12356 Bq | 568 Bq | 12356 Bq | 25280 Bq |
| Activity Ratio U^{234}/U^{238} | _____ | _____ | _____ | 1.00 |
| Activity Ratio U^{235}/U^{238} | _____ | _____ | _____ | 0.048 |

Depleted Uranium DU

2.3.1 اليورانيوم المنضب

اليورانيوم المنضب هو المادة المتبقية من سلسلة عمليات تخصيب معدن اليورانيوم الخام وهو يمثل تقريباً 60 % من الإشعاعية المحققة لليورانيوم الطبيعي. يحتوي اليورانيوم المنضب على نسبة قليلة من U^{234} و U^{235} والتي قد خفضت أثناء عمليات الاستنزاف أو التخصيب. ولذلك فإن النواتج الأولية والثانوية من عمليات التخصيب هي كما في الجدول (2-1) (Wise Uranium Project, 2002) :

الجدول (2-1) نواتج عمليات التخصيب

| Isotopes | U-234 | U-235 | U-238 |
|----------------------------------|-------|--------|--------|
| Weapon grade uranium composition | 1 % | 93.5 % | 5.5 % |
| Depleted uranium composition | 0.001 | 0.25 % | 99.8 % |

وبعد عمليات التخصيب فإن اليورانيوم المنضب يمكن أن يستخدم كمحرك صاهر في الأسلحة النووية الحرارية. هذا المحرك الصاهر يمنع الإشعاع الحراري من الهروب من الوقود النووي الحراري، لذلك فهو يعمل على تحسين كفاءة الحرق. فيما النيوترونات السريعة ذات الطاقة $(2.45 \text{ \& } 14.1) \text{ MeV}$ الناتجة عن عمليات الصهر تعمل على شطر مدك اليورانيوم المنضب.

إن أهم مكونات اليورانيوم المنضب هو U^{238} والذي يبعث جسيمات ألفا بعمر نصف (Half life, $T_{1/2}$) مساوٍ إلى $4.5 \times 10^9 \text{ Yrs}$ وبفاعلية نوعية تقرب من $3.4 \times 10^{-7} \text{ Ci/gm}$. بينما الفاعلية النوعية للنظير U^{235} تكون بحدود $2.2 \times 10^{-6} \text{ Ci/gm}$ ، فيما الفاعلية النوعية المركبة لليورانيوم المنضب فإنها تساوي $4.7 \times 10^{-7} \text{ Ci/gm}$ وله وليدتان ذوات عمر نصفي قصير هما الثور يوم Th^{234} و البروتاكتينيوم Pa^{234} بعمر نصف 24.1day و 1.17 m على التوالي واللذان تبعثان أشعة بيتا وكاما الضعيفة (Liolios, 1996) وبسبب هذه العمليات الانحلالية الثابتة، فإن كمية قليلة جداً من هذه الوليدات عادة تكون موجودة في اليورانيوم المنضب. ومن جهة أخرى فإن U^{235} ($T_{1/2}=7 \times 10^8 \text{ Yrs}$) ينحل إلى Pa^{231} ($T_{1/2} = 3.25 \times 10^4 \text{ Yrs}$) والذي يبعث ألفا وبيتا وكاما.

إن سلاسل الـ U^{235} و Th^{232} و U^{238} تستمر بالانحلال إلى نظائر ذات عمر نصفي طويل نسبياً حتى تستقر عند الرصاص غير المشع Pb^{208} و Pb^{207} و Pb^{206} ، وإذا دخل اليورانيوم المنضب الجسم فإنه يتحلل في داخله إذ يمتلك درجات مختلفة من قابلية الذوبان ويكون خطره السمي الرئيسي

هو التعفن الخلوي (التخثر الخلوي) والفشل الكلوي (CHR, 2000). لقد قام المؤتمر الأمريكي للصناعات الصحية الحكومية (ACGIH) (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) بحساب قيمة الحدود الدنيا للتأثيرات السمية (حد العتبة) (Threshold Limit Value) وكانت $0.2 \text{ mg} / \text{m}^3$. وحد العتبة يستند على مبدأ مفاده أن هنالك حد عتبة والذي دونه لا يظهر تأثير صحي محقق، علماً بأن هناك من يخالف هذا المبدأ وينفي وجود جرعة العتبة، وإن الجرعة الإشعاعية مهما كانت قليلة أو ضئيلة فإن من الممكن أن يكون لها تأثير صحي ضار ولم يحسم هذا الموضوع لحد الآن، وتدعى أيضاً (Time Weighted - average value) حيث إن هناك معدل يؤخذ لكل 8 ساعات عمل يومياً و 40 ساعة عمل أسبوعياً على طول فترة العمل (Liolios, 1996). والجدول (3-1) يبين نسب نظائر اليورانيوم في اليورانيوم المنضب.

الجدول (3-1) خواص نظائر اليورانيوم في اليورانيوم المنضب

| Isotopes Properties | U ²³⁴ | U ²³⁵ | U ²³⁸ | Total |
|---|------------------|------------------|------------------|----------|
| Weight % | 0.000897 % | 0.2 % | 99.799 % | 100 % |
| Activity % | 14.2 % | 1.1 % | 84.7 % | 100 % |
| Activity in 1gm of DU | 2076 Bq | 160 Bq | 12420 Bq | 14656 Bq |
| Activity ratio U ²³⁴ / U ²³⁸ | - | - | - | 0.18 |
| Activity ratio U ²³⁵ / U ²³⁸ | - | - | - | 0.013 |

3.3.1 التعرض لليورانيوم واليورانيوم المنضب:

Exposure to Uranium & Depleted Uranium

إن معدل تناول أو دخول اليورانيوم في جسم الإنسان هو بحدود $460 \text{ g} / \text{yr}$ عن طريق الابتلاع، و 0.59 gm تقريباً عن طريق الاستنشاق. وتحت جميع الظروف، فإن استخدام اليورانيوم المنضب يمكن أن يساهم في مستويات الخلفية الإشعاعية الطبيعية لليورانيوم في البيئة وعليه فإن الجزء الأكبر من التعرض لليورانيوم المنضب يتأتى من الحروب التي تستخدم فيها ذخيرة اليورانيوم المنضب وقد قام برنامج الأمم المتحدة للبيئة (United Nations Environment Program, UNEP) بإجراء قياسات موضوعية للعديد من المناطق في كوسوفو بعد الحرب إذ أشارت كلها إلى

أن تلوث البيئة باليورانيوم المنضب قد انتشر لبضعة أطنان مترية حول المنطقة المقصوفة، وأن مستوى الخلفية الإشعاعية قد ارتفع بصورة واضحة نتيجة لاستخدام تلك القذائف الحاوية على اليورانيوم المنضب. وخلال الأيام والسنوات التي تبعت تلك الأحداث انتشر التلوث إلى مناطق واسعة من البيئة الطبيعية حيث الناس الذين يعيشون ويعملون في المناطق المتأثرة يمكن أن يستنشقوا الغبار الملوث ويتناولوا الطعام والماء الملوثين (WHO, 2001).

4.3.1 منفذ (مدخل) اليورانيوم المنضب Intake of depleted uranium

إن دخول اليورانيوم المنضب إلى جسم الإنسان والكائنات الحية يمكن أن يحدث إذا كان الماء الذي يشربه والطعام الذي يتناوله ملوثين باليورانيوم المنضب، كما أن ابتلاع الأطفال للتراب خلال فترة نقص الفيتامينات (حالة تناول التراب والطين والطباشير، الخ) أو وضع أيديهم داخل أفواههم يعد وسيلة مهمة لانتقال اليورانيوم المنضب إلى داخل الجسم. أما الدخول بوساطة الاستنشاق فيمكن أن يحدث عندما تنتشر ذرات الغبار الحاملة لليورانيوم المنضب نتيجة لهبوب الرياح، وكذلك الاستنشاق الذي يتم أثناء حوادث تحطم الطائرات أو المركبات الحاملة لذخيرة اليورانيوم المنضب أو نتيجة للحرائق التي تحدث في مخازن اليورانيوم. وهناك إمكانية لدخول اليورانيوم إلى داخل الجسم من خلال الجروح الملوثة بسبب الشظايا التي تصيب أنسجة الجلد وهذا يؤدي إلى وصول اليورانيوم المنضب إلى جميع أعضاء الجسم (Wise Uranium Project, 2002, Lopez, 2000).

5.3.1 امتصاص اليورانيوم المنضب Absorption of DU

إن أكثر من 90 % من اليورانيوم الداخل إلى الجسم يتم طرحه عن طريق الجهاز الهضمي. أما اليورانيوم الممتص من قبل الدم فإن ما يقارب 67 % منه يصفى في الكليتين ويخرج مع البول خلال 24 ساعة، وإن معدلات امتصاص اليورانيوم الموجود في الطعام والماء تكون بحدود 2 % لمركبات اليورانيوم الذائبة وتنخفض إلى 0.2 % للمركبات غير الذائبة (UIC, 2002).

Radon Gas

4.1 غاز الرادون

الرادون هو أحد عناصر الجدول الدوري ويقع ضمن مجموعة العناصر النبيلة (كالهيليوم والنيون والزينون وغيرها). تبلغ كثافته 9.7 Kg/m^3 ودرجة غليانه 61.8°C - ودرجة إنجماده -71.0°C وهو غاز مشع عديم اللون والرائحة وهذه الخواص تصعب عملية الكشف عنه. ويعد الرادون من أثقل الغازات المعروفة في الطبيعة، فعدده الذري 86 والعدد الكتلي لنظيره الأكثر استقراراً هو 222.

أكتشف غاز الرادون عام 1900 من قبل العالم دورن (F.E Dorn) في أملاح الراديوم واطلق عليه اسم فيض الراديوم Radium Emanation. يتولد غاز الرادون Rn^{222} نتيجة للتحلل التلقائي Spontaneous Decay لعنصر الراديوم Rn^{226} والذي يتواجد في القشرة الأرضية بنسبة 10^{-11} %، إن وجود الراديوم في منطقة ما في الطبيعة يعتمد على وجود اليورانيوم U^{238} والذي يقدر الجيولوجيين وجوده في القشرة الأرضية بنسبة 3 ppm ، وبما أن الراديوم هو المصدر الرئيسي للرادون في الطبيعة وعمره النصفى يساوي 1600 Year ، وعليه يتوقع وجود الراديوم في جميع الخامات التي تحتوي على U^{238} الذي لا يتوزع بصورة متجانسة في المناطق الجيولوجية المختلفة، لذا فهناك مناطق تكاد تكون خالية من هذا العنصر في حين توجد مناطق أخرى تحتوي على تراكيز عالية من الخامات التي تحتوي على هذا العنصر مما يؤثر بشكل ملموس على تراكيز الرادون من منطقة لأخرى لكونه يتسرب ويتحرر بشكل طبيعي من الأرض والمياه الجوفية إلى الجو. ويقدر المختصون أن مايكروغرام واحد من الراديوم Ra^{226} يمكن أن ينتج ما مقداره 0.0001 ml من غاز الرادون Rn^{222} تحت الظروف الاعتيادية من الضغط والحرارة (Sims, 1998).

وكما هو معروف فإن العناصر الموجودة في الطبيعة تنتمي إلى أربع سلاسل انحلال Decay Series رئيسية هي الثوريوم Th^{232} والنبتونيوم Np^{237} واليورانيوم U^{238} والاكينيوم Ac^{227} ، وأن كل من هذه السلاسل المذكورة، عدا النبتونيوم لنفاذه من الكرة الأرضية، تمر عند انحلالها بأحد نظائر الرادون الثلاثة المهمة وهي:

أ - **الاكتينون**: هو نظير الرادون Rn^{219} وينتمي إلى سلسلة الاكتينيوم Ac^{227} . ويبلغ عمره النصفى 4 Sec ويتواجد بنسبة قليلة جداً وذلك بسبب قلة تواجد اليورانيوم U^{235} (أقل من 1 %)، وعمره النصفى قصير قياساً باليورانيوم U^{238} . إن سلسلة الانحلال هذه تشكل حوالي (0.72 %) من الإشعاع الطبيعي.

ب - **الثورون**: وهو نظير الرادون Rn^{220} وينتمي إلى سلسلة الثوريوم Th^{232} . ويبلغ عمره النصفى Sec 55 يعد الثورون أكثر نظائر الرادون غزارة بسبب وفرة الثور يوم العالية مقارنة باليورانيوم ولكنه يختفي من الجو بسرعة بسبب عمره النصفى القصير.

ج - **الرادون**: هو نظير الرادون Rn^{222} والذي ينتمي إلى سلسلة اليورانيوم U^{238} ويعد هذا النظير الأطول عمراً من بين نظائر الرادون إذ أن عمره النصفى يساوي 3.825day مما يزيد من قابليته على الانتشار لمسافات غير قليلة في الجو على الرغم من كونه ينبعث من التربة بكميات أقل بكثير من الثورون.

Detection of Radon Gaz

1.4.1 الكشف عن غاز الرادون

يتميز غاز الرادون بكونه غازاً مشعاً لذا فإن عملية الكشف عنه وقياس تراكيزه في المواد (كالهواء والتربة والمياه، الخ) سوف تستند بصورة رئيسية إلى استخدام الكواشف النووية وهذه الكواشف على نوعين :

1 - **الكواشف السلبية** Passive Detectors: وهي كواشف لا تحتاج في تشغيلها إلى القدرة الكهربائية مثل كواشف الأثر النووي الصلبة (SSNTD's)، ولها القابلية على تسجيل آثار جسيمات ألفا الناتجة من انحلال الرادون بصورة مباشرة دون أي فعل من المستخدم أو تدخل من الأجهزة (CMHCHC, 1997).

2 - **الكواشف الفعالة** Active Detectors: وهي عكس الصنف الأول إذ أنها لا تستغني عن القدرة الكهربائية أثناء عملها وتنتمي كواشف أشباه الموصلات إلى هذا النوع. إن كلا الصنفين أعلاه تمتازان بحساسيتهما العالية لجسيمات ألفا التي تنبعث من الرادون إلا أن الصنف الأول من الكواشف في أعلاه يكون مفضلاً عن الصنف الثاني في حالة القياسات طويلة الأمد أو التي تجري في ظروف بيئية قاسية أو في أماكن بعيدة لا تتوفر فيها القدرة الكهربائية .

2.4.1 المخاطر الصحية للرادون ووليداته

منذ قرون عدة وجد أن عدداً كبيراً من العاملين في مناجم استخراج الفحم والمعادن المختلفة في بعض المناطق من العالم وبشكل خاص في مناطق شرق أوروبا يعانون من أمراض معينة في الرئة والتي لم يتم تشخيصها كحالة من حالات سرطان الرئة إلا في فترة متأخرة وقد أظهرت الدراسات التي أجريت في الخمسينات من القرن الماضي وبعدها أن الجرعات الإشعاعية المسببة لسرطان الرئة لدى أولئك العاملين لم تكن بسبب استنشاق غاز الرادون فحسب بل بسبب تراكم نواتج تحلله من باعثات جسيمات ألفا ذات العمر النصفى القصير والتي تلتصق عادة بجسيمات الغبار المنتشرة في أجواء المناجم (الوندواي، 1999). ونظراً لكون جسيمات ألفا المنبعثة من الرادون تعد

من الجسيمات الثقيلة والمشحونة فإنها تحدث عند تصادمها مع ذرات الخلايا المكونة لأنسجة وأعضاء الجسم تأثيرات واضطرابات هائلة فيها فضلاً عن التأثيرات الكيميائية على المستوى الجزيئي. ويقدر متوسط طول مسار جسيمات ألفا في الأنسجة الرخوة بحدود $m \sim 40$ ، كما إن طاقتها التأيينية تزيد بأكثر من ألف مرة على طاقة جسيمات بيتا وهي بذلك تكون أكثر تدميراً للأنسجة البشرية، ومن هنا تأتي مخاطر التعرض للرادون Rn^{222} ونواتج تحلله. وعلى الرغم مما تقدم فإن جزءاً من الجرعة المكافئة الفعالة السنوية التي يتعرض لها الأشخاص المتواجدون في بيئة ذات خلفية إشعاعية اعتيادية تقدر بحدود 2 mSv في العام، وهذا يأتي بسبب استنشاق الإنسان للرادون Rn^{222} بمعدل 0.8 mSv (نجم، 1997).

إن أعداداً متزايدة من حالات سرطان الرئة يتم تشخيصها بين العاملين في مناجم استخراج اليورانيوم وبخاصة المغلقة منها والموجودة تحت سطح الأرض، ونظراً لسلوكية غاز الرادون ووليداته لا يمكن استبعاد احتمال إصابة العاملين بسرطان الرئة في المناجم المفتوحة أيضاً وحتى ضمن العاملين في الأنواع المتطورة من المناجم التي تستخدم تقانة استخراج المعادن بطريقة الذوبان باستعمال المحاليل، إذ يتم إذابة واستخرج المعادن من تحت سطح الأرض ومن ثم ضخها الى السطح. ومن الجدير بالذكر إن هذه التقانة محدودة جداً في الوقت الحاضر ولكن يتوقع انتشارها في المستقبل لاسباب عديدة وبشكل خاص ما يتعلق منها بتوافر الجوانب المتعلقة بالسلامة المهنية والامان الصناعي (Sims, 1998).

وينبع الاهتمام الواسع بالرادون كملوث إشعاعي بيئي وصناعي من كونه مصدراً خطراً على صحة العاملين في المناجم والأنفاق وعلى صحة العامة من الناس على حد سواء بسبب اتساع نطاق انتشاره في التربة ومواد البناء والمياه الجوفية بما في ذلك مياه الآبار والينابيع المعدنية وكذلك لا تخلو مياه شبكات إسالة المياه في بعض المناطق من هذا الغاز.

وعلى الرغم من كون المعايير الخاصة بالتعرض لغاز الرادون قد أعلنت لجمهور الناس منذ عام 1960، إلا أن الاهتمام بالرادون كعامل إشعاعي خطر ملوث للبيئة وله تأثيرات صحية ضارة على الإنسان لم يأخذ مداه المطلوب إلا في منتصف السبعينات من هذا القرن عندما أصبح في متناول الباحثين والمهتمين أجهزة متطورة قادرة على تحسس الرادون بتركيز مختلفة. وبقدر تعلق الأمر بالمساكن والأبنية وغيرها فقد تم التأكيد على التصاميم التي تضمن مقاومة التقلبات المناخية، والتي من أهم خصائصها المحافظة على أجوائها الداخلية من خلال التحكم في عمليات التهوية وخفض معدلاتها الى الحدود الدنيا المقبولة وفق المعايير السائدة. ولغرض الإيضاح نذكر أن معدل

التهوية في أماكن الإقامة يتراوح بين (0.5-1.5) مرة تغيير هواء في الساعة (Wise Uranium Project, 2002)، (CMHCHC, 1997).

3.4.1 فوائد غاز الرادون واستخداماته

إن من أهم فوائد غاز الرادون واستخداماته هي:

1 - التنقيب عن اليورانيوم: إن الأساس العملي الذي تبنى عليه هذه الطريقة هو أن اليورانيوم يمثل النواة الأم (Parent Nucleus) الرئيسة التي ينحدر عنها غاز الرادون، فهو يتولد من تحلل الراديوم الذي هو بالأساس من نواتج تحلل سلسلة اليورانيوم. لذا فإن رصد الرادون بتركيز عالية قرب سطح الأرض هو دليل على وجود خام اليورانيوم عند عمق معين، ولكن كيف يمكن للرادون أن يتصاعد بغزارة إلى سطح الأرض التي يتواجد تحتها اليورانيوم دون أن تنخفض تراكيزه بشدة عالية نتيجة لتحلله الإشعاعي داخل الأرض، إذ أن له عمر نصفي يبلغ 3.825 day ومعدل عمر يبلغ 5.5 day وكلاهما قصير نسبياً ؟ إن ذلك يعزى إلى ثلاثة عوامل أساسية تؤثر على انتقال غاز الرادون داخل الأرض وهي:

أ - خمول الغاز كيميائياً أي لا يتفاعل مع ذرات الوسط المحيط، لذا فإن تراكيزه لا تتناقص عند انتقال الغاز خلال الأرض (نجم، 1997).

ب - مسامية ونفاذية الأرض، إذ إن انتقال غاز الرادون في الأرض عالية المسامية يكون سهلاً.

ج - التدرج الحراري (Heat gradient)، وهو التغير في درجة حرارة الأرض المرافق للتغير في العمق عن سطحها (الونداوي، 1999).

2 - في التنقيب عن النفط والغاز: إن قياس تراكيز عالية لغاز الرادون قرب سطح الأرض هو دليل على وجود خامات هايدروكربونية إضافة إلى وجود خامات اليورانيوم، إذ أن الغازات التي تتسرب عن الخامات البترولية تتحرك نحو الأعلى محدثة بذلك جرياناً تصاعدياً (Up flow) قرب سطح الأرض حيث يقاس الرادون، وهكذا فإن قياس تراكيز غاز الرادون قرب سطح الأرض قد يدل وبصورة غير مباشرة على وجود خامات النفط والغاز عند عمق معين في باطن الأرض (CMHCHC, 1997).

3 - في التنبؤ عن الزلازل والبراكين: إن حدوث الزلازل والبراكين يكون عادة مصحوباً بزيادة فجائية لتراكيز الرادون قرب سطح الأرض وخصوصاً في الفترة التي تسبق حدوث الزلازل البركانية. مما يجعل من الرادون عاملاً مهماً في عملية التنبؤ بهذه الكارثة الخطيرة نتيجة لحدوث إنضغاطات وتوسعات وإجهادات في القشرة الأرضية والتي بدورها تؤثر على مناسيب جريان الموائع في مسامات

القشرة الأرضية، مما يؤدي إلى زيادة تراكيز غاز الرادون عن مستوياتها السابقة بصورة ملحوظة (Planinic *et al.*, 2000).

4 - في تحديد تراكيز بعض المواد المشعة التي تبعث غاز الرادون: فمثلاً يمكن تحديد تراكيز المواد المشعة في المساكن والبنائيات وهواء الغرف حفاظاً على الصحة العامة للسكان، وكذلك في المواد الغذائية حيث تعد الأكثر أهمية، مثل التبوغ والشاي ومساحيق التنظيف ومعاجين الأسنان الخ (الجزراوي، 1999)، (الجبوري، 1999)، (Khan *et al.*, 1988)، (عقراوي، 2002).

4.4.1 طرائق حساب تراكيز الرادون

تنقسم طرائق حساب تراكيز الرادون الى طريقتين أساسيتين أولاهما طريقة القياس قصيرة الأمد إذ يتم حساب تراكيز الرادون آنياً من خلال مراقبة التغيرات في مستوى انبعاث الرادون للمواقع الجيولوجية وفي التنبؤ عن الزلازل والبراكين ويستخدم في هذه الطريقة العداد التناسبي أو العداد الوميضي وحجرات التأين لقياس جسيمات ألفا أما الثانية فهي طريقة القياس طويلة الأمد ويستخدم فيها كواشف الأثر النووي الصلبة (SSNTD's)، وتعد هذه الطريقة أكثر كفاءة في القياس إذ تصل الدقة فيها حتى إلى ppb في قياس تراكيز الرادون ووليداته. ومن الكواشف المستخدمة في هذه الطريقة، كاشف CR-39 و LR-115 type II والماكر وفول PM-355. يجري تطبيق هذه الطريقة بتقنيتين؛ الأولى تكون فيها الكواشف مكشوفة عند التشعيع حيث يتم تعريض الكاشف للهواء وبذلك تتمكن جسيمات ألفا المنبعثة من الرادون ومن جميع العناصر المشعة الموجودة في الهواء من الاصطدام بالكاشف تاركة فيه أثراً على شكل مناطق تالفة. وتستخدم هذه التقنية في حساب تراكيز الرادون داخل الأبنية وهواء الغرف والأماكن المغلقة. أما في التقنية الثانية فيتم وضع الكواشف في حجرات انتشار مغلقة

Sealed Diffusion Chamber ذات شكل اسطواني أو شبه مخروطي، إذ توضع الكواشف بصورة مواجهة للعينة المراد قياس تركيز الرادون فيها وتغلق بإحكام لمنع تسرب أو تبادل الهواء مع المحيط. وبعد انتشار غاز الرادون داخل الحجرة ينحل باعثة جسيمات ألفا وحصول حالة توازن بينه وبين وليداته يتم السماح للكاشف بالتعرض للعينة وإن نسبة ترسب وليدات الرادون على جدران الحجرة تعتمد على أبعاد (نصف القطر وارتفاع) تلك الحجرات. لقد وجد أن أقل نسبة لوليدات الرادون هي عندما يكون نصف قطر الحجرة الأسطوانية بحدود 1.4 cm وإن أفضل أبعاد لمنظومة التشعيع هي عندما تكون المسافة بين سطح العينة والكاشف أكبر من 7 cm (Barillon *et al.*, 1991) ومن الجدير بالذكر إن نسبة الآثار الناتجة عن

الثورون تشكل بحدود % (60 - 55) فيما تشكل نسبة الآثار الناتجة عن الرادون بحدود % (45 - 40)، لذا من الضروري عند قياس الرادون العمل على منع وصول الثورون إلى الكاشف. إن الرادون والثورون هما نظيران للعنصر نفسه (ولكنهما يعودان إلى سلسلتي انحلال مختلفتين)، فإن فصلهما عن بعضهما يمكن أن يتم فقط على أساس الاختلاف الكبير في معدلات التحلل لكل منهما ويمكن إهمال وجود الثورون عن طريق إعاقة انتشاره من خلال استخدام غشاء بوليمري أو طبقة رقيقة من الرمل أو على أساس المسافة بين الكاشف والعينة. وكذلك يمكن التمييز بين الرادون والثورون عن طريق الآثار المتكونة بواسطة جسيمات ألفا المنبعثة منهما إذ أن الأقطار العائدة للرادون تكون أكبر من الآثار العائدة للثورون لأن طاقة جسيمات ألفا المنبعثة من الثورون 6.29 MeV أكبر من معدل طاقة جسيمات ألفا المنبعثة من الرادون 5.485 MeV .

5.4.1 الهدف من البحث

إن هدف الدراسة الحالية هو تحديد تراكيز اليورانيوم المنضب في عينات من بقايا ومخلفات الدبابات والمعدات العسكرية التي تعرضت للقصف في حرب الخليج الثانية وذلك باستخدام تقنيتي كاشف الأثر النووي CR-39 وكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe. كما هدفت الدراسة إلى الكشف والتأكد على احتواء القذائف على اليورانيوم المنضب من خلال تحديد تراكيز اليورانيوم فيها ومقارنتها مع الخلفية الإشعاعية. احتوت الرسالة على خمس فصول، إشمئل الفصل الأول على التلوث باليورانيوم المنضب، والفصل الثاني على الدراسات السابقة وكواشف الأثر النووي. إما الفصل الثالث فقد تطرق إلى كواشف أشعة كاما، والفصل الرابع احتوى على الجزء العملي والحسابات، إما النتائج والمناقشة فقد ذكرت في الفصل الخامس.

الفصل الثاني

الدراسات السابقة

وكواشف الاثر النووي

الفصل الثاني

استعراض الدراسات السابقة

1.2 استعراض الدراسات السابقة لاستخدام كاشف CR-39

إن مبدأ الكواشف الصلبة قد اكتشف من قبل العالم يونك في عام 1958 والذي كان يعمل في أبحاث الطاقة الذرية في بريطانيا إذ لاحظ أن بلورة فلوريد الليثيوم إذا وضعت بتماس مع رقائق اليورانيوم وعرضت للنيوترونات الحرارية فإن عدداً من الآثار تظهر عليها بعد معاملتها بالمحاليل الكيميائية (Tsuruta, 2002). وقد شاهد العالمان (Silk and Barnes, 1959) الآثار المتخلفة على مادة كواشف المايكا نتيجة لشظايا الانشطار المتولدة عند تعرض هذه الكواشف للنيوترونات الحرارية كونها مطلية بطبقة من اليورانيوم. وقد طور (Fleicher *et al.*, 1965) ما توصل إليه Silk and Barnes وقدموا نوعاً جديداً من الكواشف سميت بكواشف الأثر النووي الصلبة (SSNTD's) (Solid State Nuclear Track Detectors)، وبينوا أن نواتج الإنشطار في المايكا يمكن إظهارها بواسطة عملية القشط بمحلول HF وملاحظة الآثار بالمجهر البصري. لقد بين (Price and Walker, 1962) و (Fleicher *et al.*, 1965) إمكانية استخدام SSNTD's كمجرع نيوتروني باستخدام المايكا والزجاج والبولي كاربونايت كمواد كاشفة. وقد نشر بيكر عام (1966) بحثاً عن استخدام فوسفات الزجاج المصنوعة من قبل شركة توشيبا اليابانية المحدودة كمقياس جرع زجاجي متفلور (Tsuruta, 2002).

لقد استخدمت الكواشف في العديد من المجالات التطبيقية وبخاصة في إيجاد تراكيز في الكثير من المجالات (مواد غذائية، أترية، مياه، الخ) ومن ثم إيجاد تراكيز اليورانيوم لمعرفة مدى الأخطار المحدقة بالحياة والبيئة. فقد أجرى (Fleicher and Morgo - Compero, 1978) مسحاً لتراكيز الرادون المنبعث من سطح الأرض وذلك لتحديد هجرة الغازات ولمسافات طويلة باستخدام الكاشف CR-39 وبطريقة تقنية الحجر المخروطية والاستفادة من النتائج كإشارة أو إنذار للتنبؤ بحدوث الزلازل وكذلك الكشف عن اليورانيوم، فيما درس (Abu jarad and Fremlin, 1980) نشاط جسيمات ألفا داخل البيوت باستخدام تقنيتين مختلفتين وهما جامع الهواء Air Sampler وتقنية القذح Can Technique وذلك باستخدام كاشفي الأثر CR-39 و نترات السليولوز LR-115.

أما (Khan *et al.*, 1980) فقد أنجزوا دراسة تجريبية للكشف عن الرادون باستخدام كواشف الأثر النووي من أجل البحث عن اليورانيوم باستخدام تقنية الحجر الأسطوانية وذكروا العوامل التي يجب الأخذ بها عند إجراء مثل هذا النوع من الدراسات حيث لخصوا هذه العوامل بتأثير الأبعاد

الهندسية وموقع الكاشف وتأثير زمن التعرض والظروف البيئية على عدد الآثار المسجلة. وقد قام (Geraldo and Tanak, 1980) من البرازيل بتسجيل شظايا الإنشطار باستخدام كاشف الماكروبول الصلب KG Macrofol لتقدير تراكيز اليورانيوم في نماذج عديدة من الماء والشعر والإدرار والنماذج النباتية.

لقد توصل كل من (Chakarvarti and Nand Lal, 1980) و (Khan *etal.*, 1988) و (Henshaw and Allen, 1994) وبوساطة الكشف البصري لآثار الإشعاع في كواشف الأثر النووي الصلبة إلى إيجاد التراكيز الفعالة لليورانيوم الموجودة في عينات مختلفة من الأتربة ومياه معدنية وفي التبوغ والشاي ومسحوق تنظيف الأسنان. وكذلك استطاع (Khan *etal.*, 1988) أيضاً إجراء دراسة لتحديد محتوى الرادون في عينات من التبوغ والشاي ومساحيق تنظيف الأسنان باستخدام الكاشف CR-39 وباعتماد تقنية القذح، إذ وجد أن محتوى الرادون بحدود mBq/l (14.6 - 89.91) للتبوغ و mBq/l (27.38 - 41.81) للشاي وبحدود mBq/l (26.27 - 41.3) لمساحيق تنظيف الأسنان. فيما قام كل من (Sinch and Vrk, 1987) و (Jonsson, 1991) و (Tell *etal.*, 1994) بتحديد تراكيز الرادون في الأبنية الداخلية والأتربة وصخور الأديم Bedrocks في السويد باستخدام كواشف الأثر النووي (LR-115, CR-39) وقد أظهرت النتائج إن التركيز يعتمد على الخصوبة والإرتفاع عن مستوى سطح الأرض واتجاه الريح والمواد الموجودة في العينات المدروسة. كما استخدم كل من (Barillon *etal.*, 1991) كاشفي الأثر CR-39 و LR-115 أيضاً لقياس انبعاث الرادون فضلاً عن تقنية العداد الوميضي إذ تمكن الباحثون من تحديد مستويات الرادون في مدينة lamalou les bains في فرنسا.

لقد وجد (Abu Murad *etal.*, 1994) أن معدل تركيز غاز الرادون داخل المساكن في بعض مناطق الأردن يساوي $5.33 Bq/m^3$ باستخدام كاشف CR-39. واستخدم (محيميد وسليمان، 1995) كاشف الأثر CR-39 في التمييز بين الطاقات المختلفة لجسيمات ألفا المنبعثة من مصدر الأمريشيوم Am^{241} والموهنة باستخدام ألواح من الألمنيوم المختلفة الأسماك. ثم قام (الجميل، 1996) بالكشف عن اليورانيوم المنضب في أتربة أخذت من مواقع عمليات أم المعارك (حرب الخليج الثانية)، إذ تم تحديد نسبة تركيز اليورانيوم من خلال تحديد نسبة الرادون Rn^{222} باعتماد الكاشف CR-39 واستخدام تقنية أنابيب الاختبار. لقد أشارت النتائج التي تم الحصول عليها أن هناك زيادة ملحوظة في تركيز اليورانيوم في موقعي محافظتي المثنى $15.6 ppm$ وذي قار $26.4 ppm$ إذ كانت قوات الحرس الجمهوري متمركزة في هاتين المحافظتين، في حين وجد أن معدل تركيز اليورانيوم في بقية المواقع تقريباً بحدود $6.73 ppm$.

كما قام (النعمي، 1997) بإيجاد تراكيز اليورانيوم من خلال إيجاد تراكيز الرادون في الصخور المستخدمة في تصنيع السمنت العراقي في محافظة نينوى والمأخوذة من مقالع سنجار وحمام العليل وبادوش بإستخدام الكاشف CR-39 وقد وجد أن تركيز اليورانيوم لمقلع سنجار 1.25 ppm أكبر من تركيزه في مقلعي بادوش وحمام العليل 0.31, 0.2 ppm على التوالي.

وقام (الجزراوي، 1999) بتحديد تراكيز الرادون في أنواع مختلفة من التبوغ المحلية والأجنبية بإستخدام الكاشف CR-39 واستخدام حجرات أسطوانية الشكل باعتماد طريقة القياس طويلة الأمد، وقد أظهرت النتائج أن محتوى الرادون في التبوغ المحلية يتراوح بين Bq/m^3 (72.28 - 123.2) أما محتوى الرادون في تبوغ السكائر الأجنبية فقد تراوح بين Bq/m^3 (38.41 - 227.92). ولتحديد تراكيز الرادون في أنواع مختلفة من الشاي المستورد والمستخدم في الأسواق المحلية في مدينة الموصل في العراق باستخدام كاشف CR-39 فقد وجد (الجبوري، 1999) أن محتوى الرادون في أنواع العينات المستخدمة كان بحدود Bq/m^3 (24 - 51) بينما كان محتوى الراديوم يقرب من Bq/Kgm (0.051 - 0.111) وقد تم اختبار بعض العينات بعد غلي الشاي وأظهرت النتائج أن تركيز غاز الرادون كان بحدود Bq/m^3 (32 - 42) ومحتوى الراديوم كان بحدود Bq/Kgm (0.01 - 0.14).

وفي المؤتمر الخاص بالكواشف الصلبة (Nuclear Tracks in Solids)، نشر الباحثون (Sadowska *etal.*, 2000) بحثاً عن إمكانية استخدام كاشف الأثر النووي CR-39 لتسجيل آثار أيونات الليثيوم ذات الطاقة الواطنة وذلك بإستخدام معجل لرفع طاقة الأيون إلى 25 keV لكي يتم تسجيله في هذا الكاشف لأن له القدرة على تسجيل الطاقات الأعلى من 20 keV تقريباً وبذلك تمكنوا من توسيع استجابة الكاشف. وفي المؤتمر نفسه قام كل من (Virk and Srivastava, 2000) بنشر بحث عن تغيير أو تحويل الاستجابة البصرية والكيميائية والتركيبية لكاشف CR-39 المشع بأيونات الليثيوم 50 keV إذ ذكروا فيه أن التشعيع في البوليمرات يحطم التركيب الابتدائي بكسر وشق الأواصر الرابطة وإنبعاث الذرات والجزيئات وهذا يقود إلى تغيير في الخواص مثل الكثافة والتوصيلية والإمتصاص البصري وتوزيع الوزن الجزيئي وقابلية الذوبان.

لقد تمكن كل من (Flesch *etal.*, 2001) من استخدام كاشف CR-39 وذلك بتحديد مسار وشحنة الأيون وشظائيه في الكاشف باستخدام أيونات السليكون بطاقة 490 MeV. كما أشار (Barioni *etal.*, 2001) إلى تحديد تراكيز اليورانيوم في أغذية مدينة ساو باولو في السويد إلى أن الإنسان يستطيع التعامل مع الإشعاع إما داخلياً أو خارجياً عن طريق الهضم أو

الاستنشاق للمواد المشعة أو نواتجها. فقد تم حساب تراكيز اليورانيوم في مدينة ساوباولو باستخدام تقنية الانشطار وذلك بتشجيع بعض عينات من الاغذية بالنيترونات من مفاعل (IEAR-1) وتسجيل الآثار الناتجة عن انشطار اليورانيوم باستخدام كاشف الماكروفلو E وحسابها بواسطة مجهر بصري. وقد استنتجوا أن الرز والخس هي من الاغذية التي تحتوي على تركيز عالٍ من اليورانيوم.

2.2 استعراض الدراسات السابقة لطريقة تحليل طيف اشعة كاما

نشر كل من (Saleh and Meqwar, 1995) بحثاً تناول موضوع التأثيرات الناجمة عن استخدام قذائف اليورانيوم المنضب من قبل قوات التحالف على الكائنات الحية وطبقات الجو في المنطقة الجنوبية من العراق. وقد تم اختيار ستة مواقع لدراسة معدل التعرض الخارجي لإشعاع كاما، وهذه المواقع هي (البصرة والزيبر وصفوان وجبل سنام وحقلي الرميطة الشمالي والجنوبي). حيث جمعت 154 عينة بايولوجية (نبات، أنسجة حيوانية) و 128 عينة ترابية و 60 عينة ماء من تلك المناطق. وقد تم استخدام تحليلات طيف اشعة كاما للعينات النباتية التي أشارت إلى وجود بعض نظائر اليورانيوم ^{238}U بنسبة % 36.4 في النماذج التي جمعت من منطقة الدراسة. بعض العينات النباتية الشاذة بينت أنها تحمل تراكيز عالية من ^{234}Th و ^{226}Ra . وإن اقل تركيز للرايوم والثوريوم كان بحدود $62, 28 \text{ Bq/Kgm}$ على التوالي، وإن أعلى تركيز كان Bq/Kgm (249, 275). في حين عينات أخرى لوثت بالبزموت ^{214}Bi والبولونيوم ^{214}Po وتركيز من (1 - 3) مرة أعلى من الخلفية الإشعاعية.

أما (Al-Azzawi *etal.*, 1999) فقد قام بقياس الارتفاع في إشعاعية بعض المناطق المختارة للدراسة في المنطقة الجنوبية من العراق وهي (صفوان والزيبر وجبل سنام وحقلي الرميطة الشمالي والجنوبي). إذ تم جمع عينات من التربة والماء والأنسجة الحيوانية والنباتية وقد أنجزت التحليلات والقياسات في مختبر قسم علم الإشعاع البيئي في منظمة الطاقة الذرية باستخدام تقنية تحليل طيف اشعة كاما بكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGc، إذ وجد أن هنالك زيادة في تركيز نظير الثوريوم ^{234}Th يصل إلى 65200 Bq/Kgm وفي التربة المحيطة بالدبابات المدمرة بأسلحة اليورانيوم المنضب ووجد أن مستويات الرايوم ^{226}Ra لخمس عينات من التربة هي أعلى من مستوى الخلفية الإشعاعية إذ تتراوح بين $995 - 36205 \text{ Bq/Kgm}$ وبعض النماذج وجد فيها تركيز ^{214}Pb و ^{214}Bi أعلى بثلاث مرات من المستويات الطبيعية.

كما قام مجموعة من الباحثين في قسم الفيزياء بكلية العلوم في جامعة نوفي ساد في يوغسلافيا (Bikit *etal.*, 2001) بتحديد تراكيز اليورانيوم المنضب لمجموعة من النماذج البيئية في مختبر نوفي ساد للتحليلات ذات المستوى الوطني، إذ تم تحليل مائة عينة بيئية (تربة، نباتات، ماء، طعام) جمعت بعد الحرب في يوغسلافيا سنة 2001. وقد تم قياس النوى المشعة في هذه العينات بواسطة القطب الكهربائي المعكوس GMX وكاشف نوع HPGc مصنوع من قبل ORTEC وبكفاءة محسنة تحت 100 keV إن الكفاءة الذاتية لهذا الكاشف بحدود % 32 وقدرة

الفصل حوالي 1.9 keV ولهذا الكاشف طبقة رقيقة من الحديد على السطح الخارجي ونافاذة دخول من البريليوم. وقد تم معايرة هذا الكاشف باستخدام مصدر مشع معلوم وبشكل أسطواني. إن المحتوى الواطئ لـ U^{235} في اليورانيوم المنضب يمكن ان يكشف بمطياف اشعة كاما وذلك بتحديد النسبة بين (U^{235} / U^{238}) . إذ أن نسبة الـ U^{235} في اليورانيوم المنضب تكون اقل من نسبته في اليورانيوم الطبيعي، وان الانخفاض في هذه النسبة (U^{235} / U^{238}) يدل على وجود اليورانيوم المنضب. ان العمليات النووية والكيميائية لليورانيوم الطبيعي تحطم التوازن الإشعاعي بين U^{238} و Ra^{226} . وان الفرق بالفعالية أو الإخلال بالتركيز يعطي تركيز الفعالية لليورانيوم المنضب.

$$A(U^{238}) - A(Ra^{226}) = A(DU)$$

وقد بينت النتائج غياب اليورانيوم المنضب في العينات التي أخذت من منطقة نوفي ساد وان العينات الملوثة باليورانيوم المنضب كانت كلها من الجزء الجنوبي من صربيا .

وقام كل من (Gavshin & Miroshnichenko, 2000) الباحثان في المؤسسة المتحدة للجيولوجيا والتعدين في روسيا بقياس تراكيز اليورانيوم في الفحم الحجري الأسمر تحت الصخور النارية في (Kansk, Achinsk Basin, West Siberia) باستخدام تقنية العداد الوميضي وتحليل طيف اشعة كاما لهذه العينات. وقد بينت النتائج ان محتوى اليورانيوم في هذه العينات يزداد تدريجيا من 3.9 g/gm في القاع الى 35 g/gm قرب السطح أما في العينات الطينية فقد وجد ان تركيز اليورانيوم يتراوح بين $500 - 800 \text{ g/gm}$ عند السطح ويقل تدريجيا إلى 20 g/gm عند عمق 1 m .

كما أشار عدد من الباحثين في قسم الهندسة النووية في اليونان (Anagnostakis *etal.*, 2001)، في بحثهم عن تحديد تراكيز اليورانيوم المنضب في العينات البيئية باستخدام تقنية مطيافية اشعة كاما الى ان استخدام اليورانيوم المنضب DU في عمليات عسكرية يسبب تلوث في المنطقة المستهدفة يعود الى انتشار اليورانيوم المنضب في البيئة إذ ان نسب نظائر اليورانيوم في اليورانيوم المنضب تختلف عن النسب الطبيعية في اليورانيوم الطبيعي فان الدليل الوحيد على التلوث باليورانيوم المنضب هو الإخلال في النسب الطبيعية للنظائر المختلفة وهي U^{238} و U^{235} (مع إهمال النظير U^{234} لقلته نسبته 0.006%) وان دراسة مثل هذا التحديد الدقيق لنسب U^{238} و U^{235} يكون ضروريا. إن قسم الهندسة النووية في الجامعة التقنية الوطنية في أثينا في اليونان NES - NTVA (The Nuclear Engineering Section of the National University of Athens) استخدم كواشف جرمانيوم ذات قدرة فصل عالية لقياس الطاقات الواطئة LEGe واستخدم تقنيات خاصة لتحليل أطيف أشعة كاما من اجل تحديد U^{238} و U^{235} وبالتالي تحديد النسب النظرية لنظائر اليورانيوم في

العينات. لقد تم تحديد نسب U^{235} من تحليل الذرة الضوئية المضاعفة عند الطاقة 186 keV . إن اليورانيوم المنضب المقاس بهذه الطريقة يعطي نشاط إشعاعي لـ U^{238} الموجود في DU أعلى بحوالي 90 % من النشاط الإشعاعي لـ U^{238} الموجود في عينة من اليورانيوم الطبيعي. إن التحليل الذي جرى من قبل (NES-NTVA) لعينات أترية من سطح الأرض جمعت بعناية قبل تبدد (انتشار) اليورانيوم المنضب في كوسوفو Kosovo أعطى الدليل على أن كوسوفو هي من المناطق ذات الخلفية الإشعاعية الطبيعية العالية، مع التأكيد بشكل واضح على وجود اختلاف فيما تحويه الأترية السطحية من محتويات اليورانيوم الطبيعي، وأن النشاط الإشعاعي لـ U^{238} يصل إلى 330 Bq/Kgm . كما يمكن الإشارة إلى أن الإخلال disturbance في توازن النشاط الإشعاعي بين نويدات سلسلة اليورانيوم غالباً ما تتم ملاحظته نتيجة لعملية الترشيح Leaching وللظروف المناخية Weathering وبنسبة فعالية إشعاعية لـ Ra^{226} و U^{238} تتراوح بين (5.5 - 0.17). وبعد العمليات العسكرية في كوسوفو تم تحليل عينات من الأترية السطحية ونماذج من الحياة النباتية Vegetation فضلاً عن قذائف اليورانيوم المنضب الاختراقية DU Penterators في (NES-NTVA). وقد وجد أن بعض الأترية التي جمعت (اختيرت) حول وفي الأماكن القريبة من الحفرة التي أحدثتها هذه القذائف الاختراقية وحولها قد تلوثت باليورانيوم المنضب، إذ زاد النشاط الإشعاعي إلى أكثر من 2000 Bq/Kgm وزادت نسبة (U^{238} / Ra^{226}) لتصل إلى قيمة مساوية إلى 10. إن النسب النظائرية لنظائر اليورانيوم قد تغيرت بدرجة كبيرة وملحوظة، وقد سمح ذلك بتحديد النسبة النظائرية (الوفرة النظائرية) Isotope abundance لـ U^{235} في DU المتبدد وكانت حوالي 0.2 % والتي تتفق بدرجة كبيرة مع القيم ذات الصلة الموجودة في النشريات الخاصة بقذائف DU الاختراقية.

كما نشرت مجلة (LLRC Journal Radioactive Times) موضوعاً عن العراق باسم (Hot News From Iraq) ذكرت فيه قيام الباحث (Busby, 2001) وممثل وزارة الدفاع العراقية اللواء عبد الوهاب الجبوري ومراسل قناة الجزيرة الفضائية بزيارة المنطقة الجنوبية من العراق للتعرف على حجم المخاطر المتأثرة من استخدام قذائف اليورانيوم المنضب من قبل قوات التحالف في حرب الخليج وقياس مستوى الإشعاع في تلك المناطق. وقد أنجزت هذه القياسات باستخدام جهاز دقيق ذو عداد رقمي ومعالجة كومبيوترية دقيقة ومتكاملة مع (Dp2/449sq.cm) مادة وميضية ثنائية الفسفور تم معايرتها على مصدر الاميريشيوم Am^{241} الباعث لجسيمات ألفا بكفاءة 33 % عند الطاقة 5.5 MeV وعنصر السترونشيوم Sr^{90} الباعث لجسيمات بيتا، إن لهذا النظام القدرة على التمييز بين جسيمات ألفا وبيتا وأشعة كاما. وقد تم اختيار بعض الدبابات المدمرة والتي حدثت فيها فجوة بسبب القذائف الاختراقية من نوع (A-10) (14.7) mm ، وإن قطر هذه الفجوة في درع الدبابة كان 70

mm . فيما المادة المحيطة بهذه الفجوة كانت ذات إشعاعية عالية باعثة جسيمات بيتا بفاعلية تقرب من 2000 CpS مكافئة لجرعة مقدارها $8\ mSv/h$. وهذا يعود الى انحلال وليدات النظائر الباعثة لجسيمات بيتا Th^{234} و Pa^{234} . إن معدل العد لجسيمات ألفا في ساحة المعركة كان اعلى من معدل العد في منطقة البصرة بعامل مساوٍ الى 10 مرات تقريبا. حيث كان معدل العد في المنطقة القريبة من مجرى شط العرب مساوٍ إلى $(0.01 - 0.02)\ CpS$. بينما في منطقة الصحراء كان $(0.1 - 0.18)\ CpS$ وبمعدل $0.13\ CpS$. وقد وجد ان الفاعلية الإشعاعية كانت عالية جدا في المناطق القريبة من الدبابات المدمرة. إذ أخذت هذه القياسات لفترة متكاملة مساوية الى نصف ساعة لكل المناطق. أما القياسات التي أخذت للتربة القريبة من هذه الدبابات فقد بينت ان هناك مسحوق اسود يغطي سطح الدبابة وإشعاعية تقدر بـ $26\ CpS$ لجسيمات بيتا. وان بعض الدبابات قد أحيطت بتربة ذات إشعاع عالي يصل إلى $16000\ Cps$ لجسيمات بيتا مصحوبة بقطع من مواد صفراء اللون صغيرة الحجم منتشرة في الرمل، إذ لم يتم تشخيص هذه المواد لحد الآن.

Solid State Nuclear Track Detectors

3.2 كواشف الأثر النووي الصلبة

تختلف أجهزة الكشف عن الأشعة الكهرومغناطيسية باختلاف نوع الإشعاع والتأثير الذي يحدثه في هذه الكواشف. فمنها الكواشف الغازية وتشتمل على ثلاثة أنواع رئيسية وهي كشف حجرة التأين Ionization chamber detector وكشاف التناسب Proportional detector وعداد كايكر ميلر Geiger – Muller counter وان مبدأ عمل هذه الكواشف يستند على التأين الذي يحدث للغاز في الكاشف نتيجة لتعرضه للجسيمات المشحونة. ومن أجهزة الكشف الأخرى عن الجسيمات المشحونة هو العداد الوميضي Scintillation counter الذي يعمل على مبدأ تحويل الطاقة الحركية للجسيمات إلى ومضات ضوئية وذلك بالاعتماد على خواص المواد العضوية أو غير العضوية لمادة الكاشف التي تقوم بإطلاق ومضات ضوئية عندما تسقط عليها الجسيمات المشحونة. وهناك أيضا كواشف أشباه الموصلات Semiconductor detectors التي تعمل وفق مبدأ إنتاج أزواج من الإلكترونات والفجوات نتيجة لسقوط الجسيمات المشحونة على منطقة الاستنزاف لهذه الكواشف كما في كاشف الحاجز السطحي Surface - Barrier detector والتي تعد من الكواشف الجيدة للكشف عن جسيمات ألفا (Durrani and Bull, 1987)، (الاحمد، 1993)، (عزوز، 1982).

وقد ظهرت في الآونة الأخيرة كواشف الأثر النووي الصلبة والتي هي مواد صلبة عازلة كهربائيا لها القابلية على خزن تأثير الإشعاعات الجسيمية المؤينة على شكل تلف (ضرر) في تركيبها الداخلي والاحتفاظ بها لفترات طويلة. إذ يمكن مشاهدة مناطق التلف أما باستخدام المجهر الإلكتروني مباشرة أو باستخدام المجهر الضوئي بعد معاملتها ببعض المحاليل الكيميائية القاشطة. حيث إن هذه المواد القاشطة تهاجم المناطق التي تعرضت للإشعاع (المناطق التالفة) بمعدل أكبر من المناطق السليمة لأن هذه المناطق أكثر هشاشة من المناطق التي لم تتعرض للإشعاع لامتلاكها طاقة حرة أكبر من المناطق السليمة بسبب سقوط الجسيمات المشحونة عليها. إذ يزداد معدل مهاجمة المواد الكيميائية للمادة كلما قل وزنها الجزيئي مما يؤدي إلى تحللها Degrade بشكل كبير.

إن هذه المواد الكاشفة تستطيع الكشف عن الجسيمات المشحونة الثقيلة والتي كتلتها أكبر من كتلة الإلكترونات مثل البروتونات وجسيمات ألفا وشظايا الانشطار وكذلك لها القابلية على الكشف عن النيوترونات من خلال قياس الآثار التي تحدثها البروتونات المرتدة عن سقوط النيوترونات على تلك الكواشف (عمر، 1999).

لقد اتسعت وتعددت مجالات استخدام كواشف الأثر النووي الصلبة بشكل كبير لما تمتلكه من خصائص وميزات أهمها :

1 - سهولة استعمالها وانخفاض كلفتها، كما أن عملية قشط الآثار وإظهارها عملية سهلة (Khan and Qureshi, 1996).

2 - عدم الحاجة إلى مصدر للطاقة الكهربائية مما يجعلها مناسبة تماماً لعمليات يتعذر استخدام الأجهزة الإلكترونية فيها، كقلب المفاعل النووي والأبحاث الفضائية والكشف عن المستويات المنخفضة من الإشعاع ولفترات زمنية طويلة (نجم، 1997).

3 - لها القابلية على الاحتفاظ بالآثار عند تخزينها لمدة طويلة من الزمن عند الدرجات الحرارية الاعتيادية أو درجة حرارة الغرفة، وبالمقابل فإن الدرجات الحرارية العالية تعمل على تلاشي عدد من الآثار المتكونة في هذه المواد مما يؤدي إلى نقصان عددها (الكعبي، 1990).

4 - لها حساسية وكفاءة عاليتين قد تصل إلى % 100 كما في المايكا والكواشف البلاستيكية لذا فهي تستخدم في قياس الدفع النيتروني أو لقياس الجرعة النيترونية وذلك بقياس الآثار التي تخلفها البروتونات المرتدة عن النيترونات أو عن طريق جسيمات ألفا الناتجة عن استخدام التفاعل (n, r) ، (Tsuruta, 2002).

5 - لا تذوب في المحاليل الكيميائية بسبب تجانسها وتناظرها العاليين إذ أن المحاليل الكيميائية القاشطة لا تستطيع إذابتها ولكنها يمكن أن تقلل من سمكها عن طريق عملية التحلل Degradation (Yadov *etal.*, 1980).

6 - لها القابلية على قياس مدى عالٍ من الجرعات.

7 - دقة النتائج التي يمكن الحصول عليها من هذه الكواشف وسهولة تحليلها ولذلك استخدمت كمجاريح شخصية لقياس الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها الإنسان وكذلك استخدمت في الأعمار الصناعية.

8 - إن الجسيمات الثقيلة المشحونة كشظايا الانشطارات النووي يمكن تسجيلها وتمييزها عن الجسيمات المشحونة الخفيفة مثل $(^1\text{H}, ^2\text{H}, ^3\text{He}, ^4\text{He})$ والنيترونات باستخدام هذه الكواشف.

إن الخصائص العملية لهذه الكواشف مثل توافرها وسهولة استخدامها وإنخفاض كلفتها أدت إلى استخدامها بشكل كبير في الكثير من المختبرات ومن قبل العديد من الباحثين وفي مجالات تطبيقية مختلفة منها استخدامها في مجال الفيزياء النووية، وفيزياء البلازما (Szydlowski *etal.*, 1999)، وفيزياء الأرض (Fleischer *etal.*, 1975). كما استخدمت في مجال الطب وعلوم الحياة (Durante *etal.*, 1996)، ومجال فيزياء الفلك وعلم الفضاء ودراسة الأشعة الكونية القادمة من أعماق الفضاء إلى جو الأرض كما تعد من الأدوات المهمة في رصد الزلازل والبحث عن

الإشارات التحذيرية من الهزات الأرضية (Planinic *etal.*, 2000)، (Papa stefanon *etal.*, 1995).

1.3.2 أنواع كواشف الأثر النووي الصلبة

تقسم كواشف الأثر النووي إلى قسمين رئيسيين هما الكواشف اللاعضوية والكواشف العضوية فالكواشف اللاعضوية هي التي لا يدخل في تركيبها عنصري الكربون والهيدروجين، ومن أبرز أنواع هذه الكواشف المايكا، إذ يستخدم لتسجيل آثار النيترونات وشظايا الانشطار ويمتاز بحساسيته العالية للدقائق المشحونة ذات الكتلة الأكبر من 30 amu ويتميز باستقراره العالي عند تسجيله للدقائق المشحونة حتى درجة الحرارة C^0 400 فضلاً عن أن كاشف المايكا يحتوي على ذرات اليورانيوم والثاليوم بتركيز $(10^{-8} - 10^{-10})$ مما يسبب خلفية إشعاعية عالية بعد القشط إذ يستخدم محلول حامض الهيدروفلوريك HF بتركيز 48 % ودرجة حرارة بحدود C^0 (20 - 25) في عملية القشط (Durrani and Bull, 1987). أما كاشف الزجاج فانه يعد من الكواشف الجيدة في الكشف عن النيترونات وبخاصة في المفاعلات النووية وذلك لتحمله درجات الحرارة العالية وقابليته على تحسس شظايا الانشطار ويمتاز بنفس المواصفات التي يمتلكها المايكا ويتم إظهار الآثار بالطريقة نفسها كما للمايكا (عمر، 1999).

أما الكواشف العضوية وهي عبارة عن مواد بوليمرية، والبوليمرات هي جزيئات كبيرة متكونة من وحدات صغيرة متكررة ومرتبطة مع بعضها تدعى مونومر Monomer وتتكون وحدات المونومر في معظم اللدائن من ذرات مرتبطة مع بعضها بأصرة تساهمية تغلب عليها اصرة هيدروجين كاربون (H-C) وتشتمل البوليمرات العضوية على مركبات تحتوي فضلاً عن ذرات الكربون والهيدروجين والأوكسجين والنيتروجين على الكبريت والهالوجينات مع العلم أن أغلب الأواصر التي تربط بين هذه الذرات تكون سهلة الكسر عند تعرضها للإشعاع (محمد، 1993)، (سعيد، 1983).

إن من أبرز أنواع الكواشف العضوية هي الكواشف السليلوزية إذ تتضمن أنواعاً متعددة منها نترات السليلوز (CN-85) واسيتات السليلوز (CA-80-15) و (LR-115) بأنواعه المختلفة وتمتاز هذه الكواشف باحتوائها على النيتروجين في تركيبها الكيميائي فكاشف نترات السليلوز (CN-85) تركيبه الكيميائي $(C_6 H_{18} O_5 N_2)_n$ وتعد اسيتات السليلوز من الكواشف الجيدة في الكشف عن النيترونات والجسيمات المشحونة مثل البروتونات وجسيمات ألفا وشظايا الانشطار والأيونات الثقيلة (نجم، 1997). ويبلغ سمك هذه الكواشف $m \sim 100$ وبطلى من جانبيه بطبقة رقيقة من رابع بورات الليثيوم (LiB_4) القابل للذوبان بالماء. وتكمن أهمية وجود عنصري البور ون B^{10} والليثيوم

Li^6 في كونهما يمتلكان مقاطع عرضية كبيرة للتفاعل مع النيترونات البطيئة ويستخدم هيدروكسيد الصوديوم NaOH بعبارية 4N ودرجة حرارة $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ولمدة (4 - 3) hrs لقشط هذه الأنواع من الكواشف.

أما الكاشف LR-115 وتركيبه الكيميائي $C_{12}H_7O_{16}N_3$ يكون على أنواع عدة وهي LR-115 II و LR-115 I و LR-115 و LR-115 II B و LR-115 IB و يقرب سمكه من (12-13) m ويتكون من طبقة رقيقة من نترات السليلوز مثبتة على شريحة أكبر سمكا من البوليستر. يتم قشط هذا الكاشف باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH بعبارية 2.5N ودرجة حرارة $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ولمدة 5hrs، ويستخدم هذا الكاشف لقياس جرع النيترونات الحرارية والنيترونات السريعة وجسيمات ألفا ويستخدم LR-115 II في حساب تراكيز الرادون واليورانيوم في التربة والماء وداخل المنازل والعينات الجيولوجية (Nickolaev and Ilic, 1999).

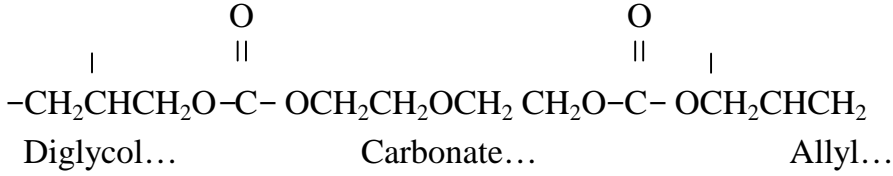
يعد كاشف الماكر وفول من الكواشف العضوية أيضاً وهو عبارة عن بولي كاربونيت Ploy Carbonate وله التركيب الكيميائي $(C_{16}H_{14}O_3)_n$ ويقرب سمكه من $m \sim 300$ وكثافته 1.2 gm/cm^3 . ولهذا الكاشف سطحان أحدهما أملس والآخر خشن ويجب أن يكون السطح الأملس مواجهاً للمصدر المشع وذلك لقلّة التشوهات مما يعطي أثراً واضحة، تتم عملية القشط لهذا الكاشف عادة بمزج 80 % من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH مع 20 % من الايثانول عند درجة حرارة $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ولمدة 4hrs. وبعد هذا الكاشف من الكواشف الجيدة في تسجيل آثار النيترونات وشظايا الانشطار ويستخدم في معايرة الرادون وقياس تراكيز اليورانيوم (Barioni *etal.*, 2001). ومن الكواشف العضوية أيضاً كاشف الليكسان إذ يستخدم في الكشف عن شظايا الانشطار Fission fragment والجسيمات المشحونة، وتركيبه الكيميائي $(C_{16}H_{14}O_3)_n$ وكثافته 1.2 gm/cm^3 (Tsuruta, 2002) ويشترك مع الماكر وفول في بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية وله القدرة على التمييز بين الأيونات الثقيلة، ويمكن الاحتفاظ بالكاشف بعد تشيعه لفترة طويلة تحت ظروف مختلفة من ضغط وحرارة.

ومن الكواشف العضوية المهمة والتي تستخدم في العديد من المجالات، لما يمتلكه من خصائص كشفية وتسجيلية جيدة للجسيمات المشحونة، الكاشف النووي البلاستيكي الصلب CR-39 المستخدم في دراستنا الحالية وسنتطرق بالتفصيل إلى مواصفات وخصائص هذا الكاشف.

الكاشف CR-39

ظهر الكاشف النووي البلاستيكي الصلب CR-39 المستخدم في دراستنا هذه عام 1978 من قبل (Cartwright and Shirk, 1978). إن CR-39 عبارة عن مادة بوليميرية وهو مختصر

من Columbia Resin. يحضر هذا الكاشف من عملية البلمرة لكاربونات الأليل دايكول المتعدد Ploy Allydiglycal Carbonate والصيغة الجزيئية له $(C_{12}H_{18}O_7)_n$ وكثافته 1.32 gm/cm³ (Fleischer *etal.*, 1975). وله الصيغة التركيبية الآتية



يتميز هذا الكاشف بشفافيته البصرية وحساسيته العالية وتجانس وانتظام تركيبه. لقد أنجزت تجارب عدة من أجل تطوير وتحسين هذا الكاشف، فقد تم إنتاج كاشف متطور من CR-39 هو كاشف SR-86 ذو حساسية أعلى من CR-39 كما تم إنتاج كاشف آخر متطور أيضاً هو كاشف PM-355 الذي يمتاز بحساسيته العالية للكشف عن البروتونات (Szydlowski *etal.*, 1999).

وبشكل عام، فإن كاشف CR-39 يعد من الكواشف الصلبة ذات الحساسية العالية للجسيمات المشحونة. ويعزى السبب الرئيسي إلى كون هذا الكاشف بوليمر ذو تركيب عضوي يحتوي على روابط الكربون في مونومر مادة الكاشف وهذه الروابط ضعيفة نسبياً وتتكرر بسهولة عند تعرضها للإشعاع ولزيادة هذه الحساسية يتم إدخال روابط أضعف من روابط الكربون إلى تركيبه الشبكي المترابط المقطع. وبذلك أصبح كاشف CR-39 أكثر انتشاراً من الكواشف الأخرى، ومن أهم الخواص التي يتميز بها :

1 - الشفافية البصرية والنقاوة العاليتين فضلاً عن تجانس مادته Homogenous وتمائل خواصه Isotropic.

2 - حساسيته العالية للإشعاع (جسيمات ألفا والبروتونات والنيوترونات) وبطاقات مختلفة فضلاً عن قابليته في تسجيل آثار البروتونات المرتدة ولمدى واسع من الطاقة (0.1 - 20) MeV والتي تجعل هذا الكاشف حساساً للنيوترونات السريعة (Durrani and Bull, 1987).

3 - القدرة التحليلية العالية High Resolution.

5 - لا يتأثر بالعوامل الجوية من درجة حرارة ورطوبة عند خزنه لفترات طويلة تحت الظروف الطبيعية، ولا يذوب في المحاليل الكيميائية القاشطة بل يتحلل من خلال نقصان سمكه أثناء عملية القشط.

6 - له استقرارية حرارية Thermost، مترابط المقطع Cross-Linked ومتبلور جزئياً (Amorphous With ≈ 20% Crystalline) (Barillon *etal.*, 1991).

ونظراً للخصائص والمميزات التي يمتلكها الكاشف CR-39 فقد استخدم في الكثير من التطبيقات والعديد من المجالات، منها استخدامه في قياس تراكيز اليورانيوم والرادون والثورون في

المنازل وفي مواد البناء وفي التربة (Falk *et al.*, 2001) والمياه والأغذية (Barioni *et al.*, 2001) وفي معاجين الأسنان (عقراوي، 2002) والشاي (الجبوري، 1999) والتبوغ (الجزراوي، 1999) والمنظفات (Khan *et al.*, 1988). كما يستخدم في الكشف عن الجسيمات المشحونة كالبروتونات وجسيمات ألفا وأيونات أخرى (Sadowska *et al.*, 2000). وكذلك في تسجيل الآثار الناتجة عن الأشعة الكونية وإيجاد تراكيز اليورانيوم والثور يوم في النماذج الجيولوجية وفي حساب تراكيز الراديوم في الأسنان (العبايجي، 2000)، فضلاً عن حساب تركيز الرصاص pb في أسنان الأطفال (Henshaw and Allen, 1994).

وبعد هذا الكاشف مجسماً جيداً للتنبؤ عن الزلازل والهزات الأرضية من خلال قياس مقدار الزيادة في تركيز غاز الرادون المنبعث من التصدعات والشقوق الأرضية الواقعة على خط الزلازل في المدن التي تتعرض للزلازل والهزات (Planinic *et al.*, 2000).

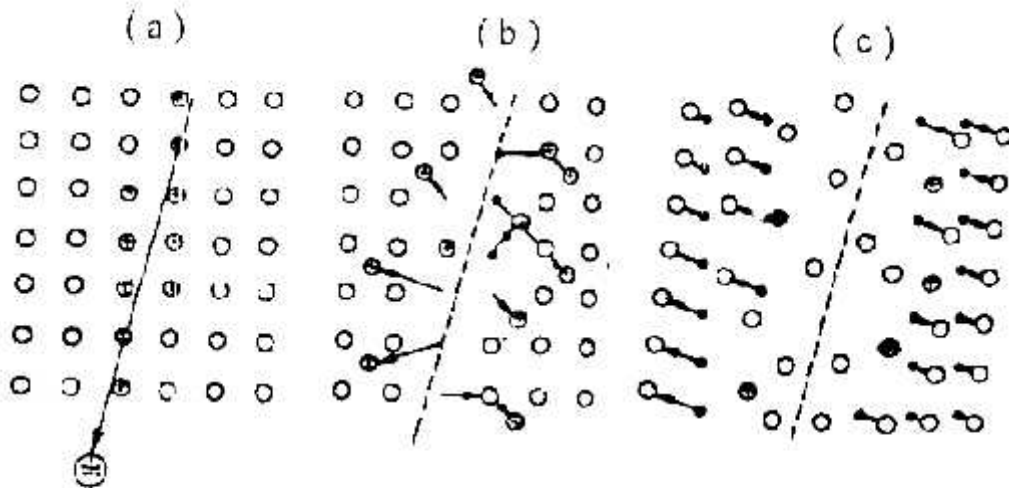
كما يستخدم الكاشف CR-39 كمرشح دقيق إذ تعرض قطعة رقيقة منه لحزمة من شظايا الانشطار وتقطط بمحلول كيميائي مناسب ولفترة زمنية معينة إذ يخترق هذا المحلول الآثار الكامنة مكوناً ثقباً دقيقاً عبر الكاشف الصلب وبقطر يتراوح بين 30 - 10 nm حيث يستخدم هذا الكاشف الدقيق لفصل الخلايا السرطانية من الدم (Durnate *et al.*, 1994). كما يستخدم الكاشف في التصوير الشعاعي الذاتي للجسم بعد حقنه بالنظائر المشعة.

2.3.2 كيفية تكون الأثر

لقد وجد في المواد الصلبة العازلة (زجاجية، بلاستيكية) إن الجسيمات المشحونة الثقيلة تنتج أثراً عند مرورها في تلك المواد ويمكن ملاحظة المناطق الصغيرة التالفة إما باستخدام المجهر الإلكتروني مباشرة أو باستخدام المجهر الضوئي بعد معاملتها بمادة كيميائية تعمل على حفر وإظهار مناطق التلف المتكونة. وإن نوع وشكل المنطقة التالفة (المتضررة) لا يعتمد على متغيرات الجسيمات الساقطة (كتلتها وطاقتها وشحنتها) فحسب بل يعتمد على نوع المادة الكاشفة الصلبة (Durrani and Bull, 1987). أما حجم المناطق التالفة فيعتمد فضلاً عن العوامل في أعلاه، على نوع وتركيز ودرجة حرارة المحلول الكيميائي القاشط وزمن القشط. لقد وضعت نماذج ونظريات متعددة من قبل العديد من الباحثين لتفسير تكون الآثار في تلك المواد وإن النظرية السائدة لتفسير تكوين الأثر في المواد اللاعضوية في منطقة الضرر الأساسية هي نظرية وخزة الانفجار الأيوني Ion Explosion Spike والمقترحة من قبل (Fleischer *et al.*, 1965). إذ يتسبب مرور الجسيمات المتأينة في المادة في تكوين منطقة تحتوي على تركيز عالٍ من الأيونات الموجبة، علماً أن زمن إعادة اتحاد الأيونات الموجبة

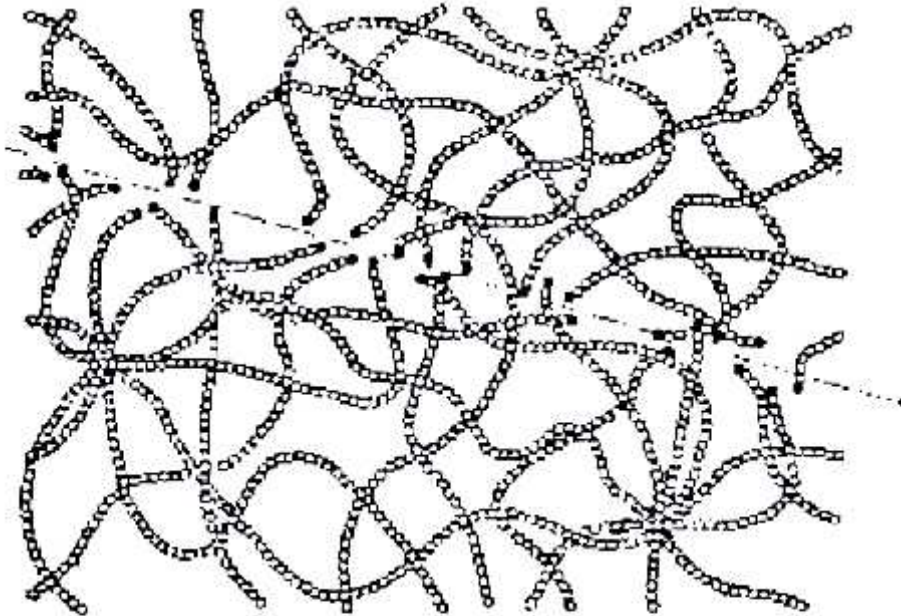
مع الإلكترونات يكون طويلاً نسبياً بحدود 10^{-13} Sec مقارنة بزمان اهتزاز الشبكة البلورية وإن هذه الأيونات تضرب وبشدة إلكترونات الذرات المتصادمة الواقعة حول المناطق المجاورة لمسارها فتنتج منطقة إسطوانية مليئة بالأيونات الموجبة والتي تتنافر مع بعضها البعض بفعل القوة الكهروستاتيكية. فإذا كانت قوة التنافر أكبر من قوة تجاذب ذرات المادة الصلبة فإنه يحدث تشوه في الشبكة البلورية مخلفاً ورائها قلباً إسطوانياً فارغاً يمكن مشاهدته مباشرة بالمجهر الإلكتروني أو بالمجهر الضوئي بعد معالجته كيميائياً بعملية القشط.

والشكل (1-2) يمثل تتابع عملية تكوين الآثار حيث يمثل (a) عملية دخول الجسيمة الثقيلة المشحونة والتي تولد تأيناً ابتدائياً للذرات على طول مسار الجسيمة، يلي هذه العملية مرحلة ترتيب الأيونات الحشرية (البينية) والفجوات في مواقع الذرات نتيجة للقوة الكولومية الموجودة حول الأيونات الابتدائية التي تولدت كما في الشكل (b) وأخيراً تحدث عملية القشط والتهدة (c).



الشكل (1 - 2) وحفرة الانفجار الايوني في تكوين الآثار في المواد الصلبة غير العضوية [Fleische: et al., 1975].

أما في البوليمرات والتي هي عبارة عن جزيئات كبيرة تتألف من وحدات متكررة ومرتبطة مع بعضها تدعى المونومير وهذه المونوميرات تكون مرتبطة مع بعضها في معظم اللدائن بأصرة تساهمية تغلب عليها أصرة هيدروجين _ كاربون (H-C)، وهذه الأصرة سهلة الكسر عند تعرضها للإشعاع مما ينتج عنها سلاسل بوليمرية صغيرة ذات نهايات فعالة متأينة تسمى الجذور الحرة والتي لها القابلية على التفاعل فيما بينها أو مع الذرات الأخرى (محمد، 1993). لذا فإن التأثير الرئيسي للأشعة على البوليمرات هو انحلالها Degradation أو تشابك جزيئاتها Cross-Linking بعضها مع بعض، وهذان التأثيران يمثلان التغيرات الرئيسية في خواص البوليمر. إن سقوط الإشعاع على هذه البوليمرات يؤدي إلى تهيج هذه الجزيئات وتأيينها وبالتالي قطع الروابط Bonds بينها، وإحداث تلف Damage في مادة البوليمر ولا يزول في الظروف الاعتيادية، ويعرف هذا الأثر المخزون بالأثر الكامن Latent Track. إن المناطق التالفة بتأثير الإشعاع المؤين تظهر قابلية أكبر على التفاعل مع المحاليل القلوية مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH مقارنة بالمناطق السليمة وذلك بسبب امتلاك المناطق التالفة طاقة أكبر من المناطق السليمة، لذا فإن المحلول الكيميائي يخترق المناطق المشعة بسرعة محدثاً أثراً يزداد عمقه ويتسع قطره مع زيادة زمن القشط ويمكن مشاهدة الأثر الكامن (المخزون) للإشعاع المؤين بعد إظهاره تحت المجهر الضوئي، والشكل (2-2) يوضح تأثير الإشعاع على السلاسل البوليمرية (عمر، 1999).



الشكل (2-2) يوضح تأثير الأشعاع على السلاسل البوليمرية

(Fliescher, et al., 1975)

الفصل الثالث
كواشف اشعة
كاما

1.3 تفاعل أشعة كاما مع المادة

Interaction of Gamma Ray with Matter

إن عملية انبعاث أشعة كاما من النظائر المشعة Radio-Isotope هي إحدى الوسائل التي تتخلص فيها النوى المثيجة Excited-Nuclei من بعض طاقتها أو كلها وذلك بانتقالها من مستوى عالٍ للطاقة إلى مستوى أوطأ، ويكون الفرق بين المستويين مساوياً لطاقة الفوتون المنبعث ولقياس طاقة وشدة هذه الأشعة لابد من استخدام كواشف خاصة لذلك. إن مبدأ عمل هذه الكواشف يعتمد على طريقة تفاعل أشعة كاما مع مادة الكاشف، ومن المعروف أن هذا التفاعل يحدث بثلاث طرق رئيسة وهي الظاهرة الكهروضوئية Photoelectric Effect وظاهرة كومبتن Compton Effect و ظاهرة إنتاج الزوج Pair production Effect (Bertolini and Coche, 1968)، (Ewan, 1968).

Gamma - ray detectors

2.3 كواشف أشعة كاما:

تستند كواشف الإشعاع النووي في عملها على مبدأ تفاعل الإشعاع مع المادة وطرق الكشف، بصورة عامة، تعتمد على عمليات تأيين وتهيج الذرات في مادة الكاشف خلال مرور الإشعاع فيها. ومن الجدير بالذكر أن في عملية تحليل طيف أشعة كاما، فإن التفاعلات المهمة هي التي يحدث فيها فقدان كلي لطاقة الفوتون وهذا من شأنه أن يلغي أو يستبعد تأثير كومبتن الذي فيه يحصل امتصاص جزئي لطاقة فوتون الإشعاع الكهرومغناطيسي. وهذا يوضح إن التفاعلات بتأثير كومبتن ومدى الطاقة العريض (الواسع) للإلكترونات المرتدة الناتجة من هذه التفاعلات هي التي تعطي صفات غير مرغوبة في عملية تحليل طيف أشعة كاما (CANBERRA, 1978). وكنتيجة لمعاملات التوهين الواطنة لأشعة كاما فإن مادة الكاشف من الضروري أن تكون ذات قدرة إيقاف عالية للحصول على كفاءة كشف جيدة وكذلك فإن زيادة حجم بلورة الكاشف يعمل على تحسين خواص الكشف. وهناك عوامل متعددة تكون مهمة عند اختيار كاشف أشعة كاما، منها قدرة التحليل وكفاءة الكشف وسهولة الترتيب وبساطة التجميع وعوامل ثانوية كالاستجابة الخطية والاستقرارية ونسبة تفاعلات التأثير الكهروضوئي إلى تفاعلات تأثير كومبتن والزمن الحقيقي (Siegbahn, 1965)، (Adams and Dams, 1970).

إن تقنية قياس أشعة كاما غالباً ما تستند إلى نوعين من مواد الكشف، وهي الكواشف الومضية وكواشف أشباه الموصلات (Mann *etal.*, 1980).

Semiconductor detectors

3.3 كواشف أشباه الموصلات:

تصنف المواد حسب قابليتها للتوصيل الكهربائي Electrical Conductivity إلى ثلاثة أصناف هي، الموصلة وشبه الموصلة والمواد العازلة.

تفرض نظرية الحزم وجود ثلاث نطاقات مختلفة للطاقة في المواد المذكورة وهي نطاق التكافؤ Valence band وعادة يكون مملوءاً بالإلكترونات والنطاق المحظور Forbidden band ونطاق التوصيل Conduction band الذي يكون فارغاً تقريباً من الإلكترونات عند درجات الحرارة الواطئة (Ewan, 1968).

تتميز المواد الموصلة بأن نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل فيها متداخلين ولا يوجد بينهما نطاق محظور فهي لذلك ذات قابلية عالية للتوصيل الكهربائي عند تسليط فرق جهد عليها. أما في أشباه الموصلات فإن هنالك نطاق محظور (فجوة طاقة) تفصل بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل ذات عرض صغير ($\sim 1\text{ev}$)، وفي المواد العازلة يكون عرض النطاق المحظور كبيراً جداً إذ لا يمكن للإلكترونات أن تنتقل من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل. تستخدم مواد أشباه الموصلات في صنع الكواشف المستخدمة في تحليل طيف أشعة كاما لأن منطقة الاستنزاف المتكونة في المادة شبه الموصلة تمثل الجزء المهم أو الحساس الذي يحدث فيه تفاعل الفوتون مع مادة الكاشف. إن عملية تفاعل الأشعة الساقطة مع مادة الكاشف تؤدي إلى توليد عدد كبير من أزواج إلكترون - فجوة electron-hole pairs خلال فترة زمنية قصيرة جداً أمدها 10^{-12} Sec في نطاق التكافؤ ووصول الإلكترونات إلى قعر نطاق التوصيل ويتم تجميع هذه الشحنات بواسطة تسليط مجال كهربائي بين قطبي الكاشف للحصول على نبضة خارجة مقابل تفاعل كل جسيم مشحون أو فوتون كامي مع مادة الكاشف.

إن تجميع الشحنات المتولدة يعتمد بدرجة كبيرة على الفولتية المسلطة إلا أن زيادتها عن الحد اللازم يؤدي إلى زيادة تيار التسرب Leakage current وهذا يقلل من نسبة النبضة إلى الضجيج Signal-to-noise ratio. وتواجه عملية جمع الشحنات مشاكل أخرى أيضاً منها عملية إعادة الالتحام Recombination والتي تقل احتمالياتها بزيادة فولتية الانحياز، وكذلك عملية قنص (اصطياد) الشحنات Trapping الناتجة عن وجود الشوائب في بلورة الكاشف وأخيراً ظاهرة الاستقطاب Polarization التي تحدث بسبب تراكم الشحنات وتكوينها مجالاً كهربائياً يعاكس المجال الأصلي وهذا يعني إعاقة عملية جمع الشحنات. يستخدم عادة السليكون والجرمانيوم في صنع كواشف أشباه الموصلات لكون هاتين المادتين تتصفان بالعرض الصغير للنطاق المحظور

كما يمكن الحصول عليهما بدرجة عالية من النقاوة إضافة إلى ميزات أخرى نلخصها بما يلي (Knoll, 1979):

- 1 - الطاقة اللازمة لتوليد زوج إلكترون . فجوة قليلة جداً، 2.9 eV بالنسبة لكاشف الجرمانيوم و 3.23 eV لكاشف السليكون.
- 2 - القدرة التحليلية لهما عالية، والكفاءة والاستجابة الخطية جيدة.
- 3 - عمليتا القنص وإعادة الالتحام قليلة بالنظر لكون زمن بقاء حاملات الشحنة Carrier lifetime أطول من زمن تجميع الشحنات Collection time.
- 4 - لهما ممانعة عالية High resistivity مما يقلل من تيار التسرب عند استخدام فولتية انحياز عالية.
- 5 - زمن نمو النبضة قصير pulse rise time وذلك لأن عملية جمع الشحنات تكون سريعة، إذ تمتلك هذه الشحنات قابلية كبرى على الحركة High electron-hole mobility.

4.3 القدرة التحليلية لكواشف أشباه الموصلات

Energy Resolution of Semiconductor Detectors

تمتلك كواشف أشباه الموصلات قدرة تحليلية عالية تعود إلى انخفاض الطاقة اللازمة لتوليد زوج إلكترون . فجوة. وتعرف القدرة التحليلية لكاشف بقابليته على فصل خطين طيفيين متقاربين من حيث قيمة طاقتهم، ويعد عرض الخط الطيفي W مقياس لقدرة تحليل الكاشف. هنالك ثلاثة عوامل أساسية تساهم في زيادة عرض الخط الطيفي لأشعة كاما أحادية الطاقة Mono energetic وهي:

1 - الضجيج الإلكتروني Electronic noise

إن المصدر الرئيسي للضجيج الإلكتروني هو تيار التسرب في الكاشف بجانب ضجيج جهاز التكبير amplifier noise. إذ يعمل الضجيج الإلكتروني على زيادة عرض الخط الطيفي ويمكن حساب تأثير الضجيج الإلكتروني على القدرة التحليلية من خلال العلاقة التقريبية الآتية:

$$\Delta W = \epsilon (Nc/2)^{0.5} (\tau_1/\tau_R)^{0.5} \quad (1-3)$$

إذ إن ϵ هي الطاقة اللازمة لتوليد زوج إلكترون . فجوة و Nc كثافة الشحنة و τ الثابت الزمني للمكبر RC shaping و τ_1 معدل زمن بقاء الشحنات Charge carrier life time و τ_R زمن الانتقال خلال الكاشف.

وبالإمكان التقليل من تأثير الضجيج على عرض الخط الطيفي بتبريد الكاشف والذي يؤدي إلى التقليل من تيار التسرب، ويستخدم النتروجين السائل لهذا الغرض. كما يمكن زيادة النسبة بين سعة

النبضة الحقيقية من الكاشف إلى سعة نبضة الضجيج باختيار ثابت زمني تفاضلي مناسب للمكبر المستخدم (Ewan, 1968).

2 - التقلب الإحصائي في تكوين أزواج إلكترون . فجوة

Statistical Fluctuation in the Number of Electron-Hole Pairs Formation

من البديهي انه عند تفاعل أشعة كاما أحادية الطاقة مع مادة الكاشف فانه ليس من الضروري أن تولد جميع الفوتونات العدد نفسه من أزواج إلكترون . فجوة ويعود ذلك إلى حصول التفاعل في أعماق مختلفة من مادة الكاشف وكذلك ضياع جزء من طاقة الفوتون كطاقة حرارية في الكاشف. هذا فضلاً عن الاختلاف في عدد أزواج إلكترون . فجوة المولدة من قبل الإلكترونات المتولدة في البداية primary electrons. كل هذا يؤدي إلى حصول تقلب أو تذبذب إحصائي في الشحنات المتولدة في الكاشف والذي بدوره يزيد من عرض الخط الطيفي عند منتصف ارتفاع ذروته. إن قيمة التذبذب الإحصائي يمكن التعبير عنها بدلالة طاقة الأشعة الساقطة E والطاقة اللازمة لتوليد إلكترون . فجوة تبعاً للعلاقة التالية:

$$n = \left(\frac{FE}{\epsilon} \right)^{0.5} \dots\dots\dots(2-3)$$

إذ أن F معامل فانو Fano factor وتتراوح قيمته بين (1 - 0) (Knoll, 1979)، لقد حسبت قيمة معامل فانو عملياً من قبل بعض العلماء ووجدوا أنها تساوي 0.13 للجرمانيوم و 0.5 للسليكون. إن القيمة المستخدمة لمعامل فانو هي 0.1 لكل من الجرمانيوم والسليكون.

3 - عوامل أخرى

هنالك عوامل أخرى تؤثر في زيادة عرض الخط (الطيفي) الكامي ولو بدرجة أقل من العاملين المذكورين سابقاً، منها عدم التجانس في مادة الكاشف والاختلاف في سمك طبقة الاستنزاف Depletion layer واختلاف زاوية سقوط أشعة كاما على سطح الكاشف وسوء جمع الشحنات المتولدة وكذلك بعد المصدر المشع عن سطح الكاشف (Siegbahn, 1965).

5.3 كواشف الجرمانيوم عالية النقاوة:

High Purity Germanium Detectors

إن الجرمانيوم يفضل عادة استخدامه كمادة للكشف عن أشعة كاما لطاقة أعلى من 100 keV. وعندما يستخدم الجرمانيوم النقي في كاشف فانه من غير الممكن خلق منطقة استنزاف أكثر سمكاً من بضعة مليمترات في وصلة الكاشف الاعتيادية. لذلك فان عمليات انجراف أو انسياب الليثيوم قد تطورت من اجل الحصول على منطقة ذاتية والتي يصل سمكها إلى 10-15 mm). إن حجم كواشف Ge (Li) يمكن أن يصنع كبيراً ليكون مهماً في قياسات أطياف أشعة كاما ، لكن الخلل الوحيد والرئيسي في هذه الكواشف Ge(Li) هو أن التوزيع الحيزي

أو الفضائي لليثيوم يصبح غير مستقرًا عند درجة حرارة الغرفة، ومن أجل منع حدوث فقدان التعويض في المنطقة الذاتية بسبب إعادة توزيع الليثيوم، فإن هذه الكواشف يجب أن تستخدم وتحفظ في درجات حرارية واطئة باستمرار، ويستخدم لذلك النتروجين السائل من أجل المحافظة على درجات حرارية واطئة للكاشف، وإذا حدث خلل في الكاشف بسبب ارتفاع درجات الحرارة فإنه يجب أن يعاد إلى الشركة المصنعة من أجل إعادة انتشار (انجراف) الليثيوم. لهذه الأسباب وغيرها فقد أصبح من الضروري تطوير هذا الكاشف ليكون ملائماً للظروف المختبرية وبقياسات أدق وأسهل (Knoll, 1979)، إذ تم صنع كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة، وتبين المعادلتان الآتيتان أن عرض منطقة الاستنزاف للوصلة (p-n) عند الفولتية المعطاة تزداد بالتناسب مع الجذر التربيعي لمقاومة المادة.

$$d = [2 \epsilon V / eN]^{0.5} \dots\dots\dots (3-3)$$

إذ تمثل N تركيز التطعيم (واهبات أو قابلات) على جانب الوصلة التي لها مستوى تطعيم واطئ. وباستخدام مقاومة شبه الموصل المطعم ($d = 1/e \sim N$...)، يمكن كتابة المعادلة في أعلاه كالآتي: (4-3).....

$$d = [2 \epsilon V \sim \dots]^{0.5}$$

إذ إن \sim حركية الحاملات الأقلية و d عرض منطقة الاستنزاف و ϵ ثابت العزل للوسط. فإذا قل تركيز الشوائب في الجرمانيوم إلى حوالي $10^{10} \text{ atom/cm}^3$ فإن المقاومة تصبح عالية بصورة كافية وعندها يمكن أن يصل عرض منطقة الاستنزاف إلى 10 mm باستخدام الانحياز العكسي عند فولتية أقل من 1000 Volt .

وعليه من الممكن إيجاد حجوم فعالة مقارنة مع الحجوم المتوفرة لكواشف Ge(Li) وبدون المرور بخطوة تعويض الليثيوم. هذه الكواشف ذات دايود الجرمانيوم الكبير تدعى عادة بالجرمانيوم الذاتي أو (الجرمانيوم عالي النقاوة) وتدعى كواشف HPGe، وهي واسعة الانتشار الآن في قياس طيف إشعاع كاما. ولغرض إنجاز مثل هذا المستوى الواطئ من التشويب $10^{10} \text{ atom/cm}^3$ في مرتبة 10^{-6} ppm فهناك قياسات غير عادية يستلزم إنجازها عند صنع بلورة الجرمانيوم المستخدمة في الكاشف. إن مواصفات شبه الموصل لهذه المادة العالية النقاوة تميل إلى أن تكون من نوع P-type وذلك إما بسبب الشوائب المتبقية (مثل الألمنيوم) أو بسبب المراكز القابلة للمرافقة (الملازمة) للعيوب البلورية في الجرمانيوم نفسه. وهناك تقدم كبير يحدث الآن من أجل تقليل مستويات التشويب لكي تكون الخواص الكهربائية للجرمانيوم هي المسيطرة (في بعض الحالات) من خلال العيوب التركيبية (Siegbahn, 1965)، (Adams and Dams, 1970).

إن تيار التسرب المفرط (والذي يعرف على أنه تيار صغير مستمر D.C قيمته بالمايكرومبير يظهر عند تسليط فولتية بالانحياز العكسي على وصلة الكاشف ويتعلق هذا التيار

بكل من الحجم الكلي وسطح الكاشف)، يمنع من استخدام أي كاشف جرمانيوم عند درجة حرارة الغرفة ولكن غياب تعويض الليثيوم يسمح لكواشف الجرمانيوم عالية النقاوة بأن تحفظ عند درجة حرارة الغرفة بين أوقات الاستخدام. ولكن إذا أمكن حفظ هذه الكواشف عند درجات حرارية واطئة باستمرار وذلك لتجنب حدوث تلوث جهدي لسطح الكاشف من أي أبخرة متبقية أو مترسبة من حجرة الكاشف المفرغة (Mann *et al.*, 1980).

6.3 محاسن ومساوئ كواشف أشباه الموصلات

Advantage and Disadvantage of Semiconductor Detectors

إضافة إلى الميزة الرئيسية التي يتمتع بها الكاشف شبه الموصل من حيث قدرته العالية على الفصل الطاقى فإنه يمتلك محاسن كثيرة أخرى يمكن إجمالها بما يلي:

- 1 - حساسية واطئة للأشعة الخلفية (Back ground radiation).
- 2 - استجابة خطية جيدة ولمدى واسع من الطاقة.
- 3 - إمكانية الحصول منه على نبضات زمنية سريعة نسبياً.
- 4 - قابلية العمل في معدلات العد العالية (High counting rate).
- 5 - ضعف حساسيته للمجالات المغناطيسية.

ويقابل هذه المحاسن ما تمتلكه هذه الكواشف من مساوئ منها:

- 1 - لا يمكن تصنيعها بأحجام فعالة (active volume) كبيرة تضاهي أحجام الكواشف الومضية، ولذلك فإن كفاءتها تكون اقل.
 - 2 - يجب تبريدها أثناء التشغيل إلى درجة حرارة النيتروجين السائل.
 - 3 - عدم قدرتها على إيقاف الجسيمات ذات المديات الكبيرة (الطاقة العالية) لصغر حجمها على الرغم من كثافتها العالية نسبياً.
 - 4 - يعد عمر هذه الكواشف قصيراً نسبياً (بسبب تلف وتآكل السطح نتيجة لسقوط الأشعة عليه)
- (Mann *et al.*, 1980)، (Adams and Dams, 1970).

الفصل الرابع
الجزء العلمي
والحسابات

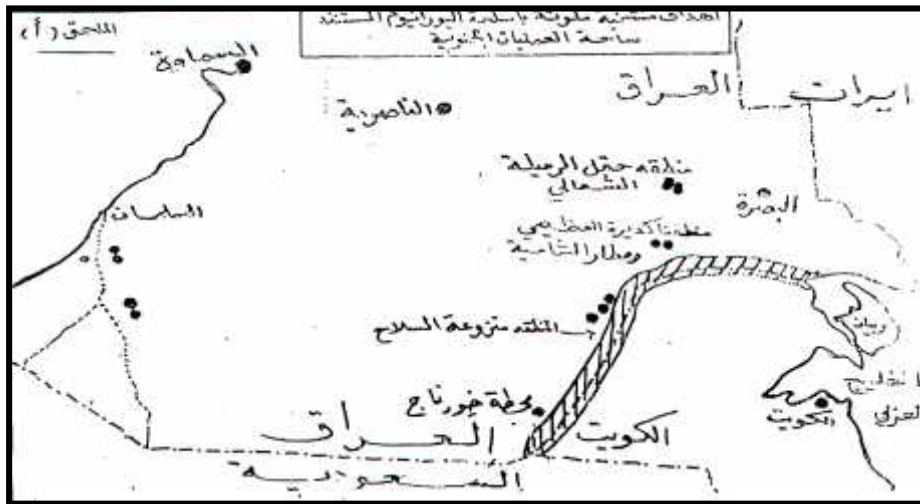
الفصل الرابع

الجزء العملي والحسابات

يتضمن هذا الفصل عرضاً للمواد والأجهزة المختبرية التي استخدمت في هذا البحث، كما يشمل طريقة العمل والقوانين والحسابات الخاصة لكلتا التقنيتين المستخدمتين.

1.4 عملية جمع وتحضير العينات

لقد تم اختيار المنطقة الجنوبية من العراق وبخاصة المنطقة المحاذية للحدود بين العراق والكويت (المنطقة منزوعة السلاح) وصولاً إلى السعودية والتي تعرضت للقصف بقنابل ذخيرة اليورانيوم المنضب كمنطقة للدراسة في بحثنا هذا. والخريطة الآتية توضح المناطق التي تم جمع العينات منها، وهذه العينات كانت موزعة على خمسة مواقع على طول المنطقة وهي (منطقة حقل الرميثة الشمالي، ومفرق طريق صفوان - أم قصر، ومنطقتي كديره العظمى ومطار الشامية، والمنطقة بين كديره العظمى ومحطة خورناج، ومنطقة محطة خورناج أو مخفر حدود خورناج). واشتملت العينات على قطع حديد من بقايا ومخلفات بعض الدبابات والمعدات العسكرية المدمرة والتي تعرضت للقصف بذخائر تحتوي على اليورانيوم المنضب خلال حرب الخليج الثانية سنة 1991، والصور التالية توضح بعض هذه المعدات العسكرية. ولقد كان عدد العينات التي تم جمعها من المواقع المذكورة في أعلاه 25 عينة، بواقع خمس عينات من كل منطقة، إذ طحنت تلك العينات باستخدام آلة الجراخة الثابتة ثم أعيد طحنها ثانية للحصول على مسحوق ناعم ومتجانس من حيث توزيع المادة المشعة فيه ليكون جاهزاً لعملية الفحص والتحليل .



الخريطة (4-1) توضح المناطق التي تم جمع العينات منها (الجبوري، 2001)



الصورة (1-4) معدة عسكرية من منطقة حقل الرميله الشمالي



الصورة (2-4) معدة عسكرية من منطقة مفرق طريق صفوان ام قصر



الصورة (3-4) معدة عسكرية من منطقتي كديره العظمى ومطار الشامية



الصورة (4-4) معدة عسكرية من منطقتي كديره العظمى ومطار الشامية



الصورة (4-5) معدة عسكرية من المنطقة بين كديره العظمى ومحطة خورناج



الصورة (4-6) مجموعة معدات عسكرية بالقرب من الطريق المؤدي إلى السعودية



الصورة (4-7) معدة عسكرية من منطقة محطة خورناج



الصورة (4-8) معدة عسكرية من منطقة حقل الرميله الشمالي



الصورة (4-9) معدة عسكرية من منطقة مفرق طريق صفوان ام قصر

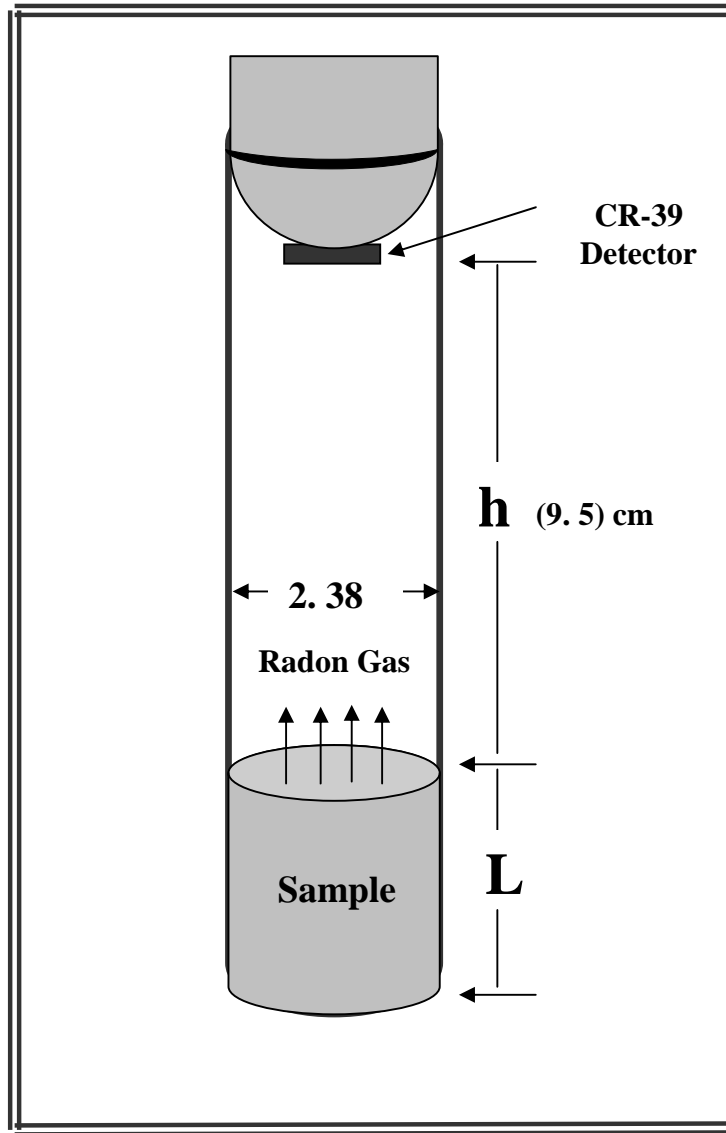
2.4 التحليل والقياس بتقنية كاشف CR-39

تم استخدام تقنية كاشف الأثر النووي الصلب CR-39 معتمدين طريقة القياس طويلة الأمد من أجل تسجيل آثار جسيمات ألفا المنبعثة من غاز الرادون المنبعث بدوره من العينات المستخدمة والذي يعد الناتج الطبيعي لانحلال اليورانيوم U^{238} . إذ تم استخدام الكاشف CR-39 بسمك 275 m وتقطيعه إلى قطع بأبعاد متساوية $cm^2 (1 \times 1)$ ، ليتم بعد ذلك تعريضها إلى العينات المستخدمة بواقع 5 غرامات من كل عينة وزنت باستخدام ميزان ذو حساسية تصل إلى $0.5 \times 10^{-2} gm$ نوع (OWALBOR). وضعت العينات في حجرات التشعيع والتي هي عبارة عن أنابيب اختبار أسطوانية الشكل تعرف بحجرات الانتشار ذات قطر $2.38 cm$ وكما موضحة في الشكل (1-4) واغلقت تلك الحجرات بإحكام بسدادات مطاطية مع مراعاة كون المسافة بين سطح العينة وسطح السداد السفلي المثبت فيه قطعة الكاشف مساوية إلى $9.5 cm$ (Barillon *et al.*, 1993) لجميع العينات، ثم تركت العينات لمدة 22 يوماً وذلك للوصول إلى 98% من حالة التوازن المثالي (القرني) Secular equilibrium بين الراديوم ووليداته من نظائر الرادون، إذ من المعروف أن عمر النصف للراديوم Ra^{226} طويل بحدود 1600 Yrs وللرادون 3.825 day وقد حسبت هذه المدة باستخدام علاقة التوازن للنشاط الإشعاعي الآتية

$$A_{Rn} = A_{Ra} [1 - e^{-\lambda_{Rn} t}] \quad \text{.....(1-4): (Azam *et al.*, 1995)}$$

إذ أن A_{Rn} تمثل فاعلية الرادون، و A_{Ra} فاعلية الراديوم، و λ_{Rn} ثابت انحلال الرادون ومقداره 0.1814 day^{-1} ، و t هو الزمن اللازم للوصول إلى حالة التوازن.

وبعد انتهاء زمن التوازن والبالغ 22 يوماً رفعت السدادات بسرعة واستبدلت بأخرى مثبتت بأسفلها قطعة الكاشف CR-39 وتم إحكام غلقها باستخدام شريط لاصق تلافياً للتبادل بين غاز الرادون والمحيط الخارجي (للحفاظ على التركيز الداخلي للردون) مع مراعاة بقاء المسافة بين سطح العينة والكاشف $9.5 cm$. وبعد ذلك تركت الكواشف داخل الحجرات لمدة 60 يوماً (فترة التعريض). ثم رفعت الكواشف لتبدأ عملية القشط لإظهار الآثار المتكونة فيها. لقد استخدم محلول هيدروكسيد الصوديوم المائي NaOH بنقاوة 98% وبدرجة حرارة $70 \pm 1^\circ C$ في عملية إظهار الآثار المتكونة في قطع الكواشف المعرضة للعينات إذ يعد من المحاليل المفضلة في عملية



الشكل (1-4) يوضح أنبوبة الاختبار المستخدمة في الدراسة

إظهار الآثار في الكواشف البلاستيكية وبخاصة كواشف البولي كاربونيت مثل CR-39. وللحصول على التركيز المطلوب للمحلول القاشط والبالغ 6.25 M ، فقد تم إذابة 25 gm من حبيبات NaOH وزنه الجزيئي 40 في 100 ml من الماء المقطر وحسب التركيز تبعاً للعلاقة

$$C = \frac{W}{W_{eq}} \frac{1000}{V} \quad \text{.....(2-4) (عمر، 1999):}$$

إذ يمثل C عيارية أو تركيز المحلول، و W وزن NaOH بالغرام، و W_{eq} الوزن الجزيئي المكافئ لهيدروكسيد الصوديوم، و V حجم الماء المقطر (ml)

استمرت عملية القشط لمدة أربع ساعات إذ رفعت قطع الكواشف من المحلول وتم تجفيفها بعد غسلها بشكل جيد بالماء المقطر لتبدأ عملية المشاهدة المجهرية وحساب الآثار المتكونة فيها. لقد تم عد الآثار المنتظمة المتولدة عن جسيمات ألفا الساقطة على الكاشف لوحدة المساحة للوجه المعرض للعينات المستخدمة. فضلا عن ذلك فإنه تم قياس الخلفية الإشعاعية للكاشف، إذ وضع في أنبوبة اختبار فارغة من العينات واغلقت بإحكام بالطريقة نفسها ولمدة الزمنية التي حددت في حالة وجود العينات. وقد بلغت الخلفية الإشعاعية بحدود $217 \text{ Track.Cm}^{-2}$ وتم طرحها من كثافة الآثار التي حصلنا عليها في حالة وجود العينات ولجميع الحالات من أجل الحصول على الكثافة الفعلية للآثار التابعة لجسيمات ألفا المنبعثة من العينات قيد الدراسة. وجرى عملية المشاهدة المجهرية باستخدام مجهر بصري نوع (ALTAU) بقوة تكبير $400 \times$ ويمكن تحديد قوة تكبير المجهر بالعلاقة:

$$400x = (10x) \times (40x) = \text{تكبير العدسة الشيئية} \times \text{تكبير العدسة العينية}$$

إن عملية عد الآثار في الكواشف كررت مرتين من أجل التأكد من دقة القراءات وأخذ معدل عدد الآثار للقراءتين لوحدة المساحة لكل كاشف.

1.2.4 الحسابات

أ- حساب ثابت الانتشار

لغرض قياس مستوى تراكيز الرادون والراديوم بالتقنية المذكورة في أعلاه لابد من تحديد ثابت الانتشار K للمنظومة المستخدمة. إذ إن ثابت الانتشار يختلف من منظومة لأخرى إذ يعتمد على الأبعاد الهندسية (الارتفاع ونصف القطر) لحجرة الانتشار (التشيع) علما أن تركيز المواد المشعة في العينات لا يعتمد على الأبعاد الهندسية للمنظومة إذا ما بقيت كتل العينات وحجومها ثابتة. لقد تم تحديد ثابت الانتشار K لحجرة الانتشار التي استخدمت في هذه الدراسة وفق العلاقات التالية (Azam *etal.*, 1995).

$$\dots = KCT \quad \dots\dots\dots(3-4)$$

إذ يمثل \dots كثافة الآثار بوحدة Tr.Cm^{-2} و K ثابت الانتشار، و C تركيز الرادون في الحيز الهوائي بوحدة Bq.cm^{-3} ، و T زمن التشيع sec فيما تمثل D معدل كثافة الآثار بوحدة $\text{Tr.Cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$

$$D = \frac{\dots}{T} = KC \quad \dots\dots\dots(4.4) \quad \text{وتساوي:}$$

كما يمكن حساب ثابت الانتشار K من العلاقة الآتية استناداً إلى الأبعاد الهندسية لحجرة الانتشار (Barillon *et al.*, 1993).

$$K = \frac{1}{4}r(2\cos \theta_c - r/R_r) \quad \dots\dots\dots(5-4)$$

إذ يمثل r نصف قطر الأنبوبة المستخدمة كحجرة انتشار ومقداره 1.19 Cm و θ_c الزاوية الحرجة لكاشف CR-39 ومقدارها 35° (Durrani and Bull, 1987) و R_r مدى جسيمات ألفا في الهواء الناتجة والمنبعثة من Rn^{222} ويساوي 4.15 Cm حسب المعادلة الآتية:

$$R_r = (0.005E_r + 0.285)E_r^{3/2} \quad \dots\dots\dots(6-4)$$

إذ إن E_r يمثل طاقة جسيمات ألفا MeV.

وعند تعويض هذه القيم في المعادلة (5-4) فإن قيمة ثابت الانتشار بوحدات الطول تساوي $K = 0.402 \text{ Cm}$ لأنه يعتمد على الأبعاد الهندسية لحجرات التشعيع ولحالات ذات أبعاد هندسية مختلفة نجد أن $K = 2.084 \text{ Tr.Cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} / \text{Bq.m}^{-3}$ ، وكذلك $K = 0.0348 \text{ Tr.Cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} / \text{Bq.m}^{-3}$ تبعاً للمتغيرات المستخدمة في المعادلات أعلاه

ب- حساب تراكيز الرادون ووليداته

يتم إيجاد تركيز الرادون في الحيز الهوائي للحجرة المحصورة بين سطح العينة

وسطح الكاشف في حجرة التشعيع بوحدات Bq.m^{-3} باستخدام العلاقة (Barillon *et al.*, 1993):

$$D_{\text{Rn}^{222}} = \frac{C}{4}r(2\cos \theta_c - r/R_r) \quad \dots\dots\dots(7-4)$$

أما فيما يخص تراكيز وليدات الرادون الباعثة لجسيمات ألفا (Po^{214} , Po^{218}) والتي قد تترسب على جدران حجرة التشعيع أو على وجه الكاشف فإنه على الرغم من أن نسبتها تعتمد على أبعاد الحجرة المستخدمة فقد وجد في عدد من الدراسات أن مساهمتها تكون قليلة عندما يكون نصف قطر حجرة التشعيع الأسطوانية 1.4 Cm وبعد العينة عن الكاشف أكبر من 7 Cm . ولتحديد مساهمة هذه الوليدات في حساب تراكيز الرادون Rn^{222} نستخدم العلاقات التالية لحساب تراكيز الوليدات (Po^{214} , Po^{218}) المترسبة على جدران الحجرة الأسطوانية ووجه الكاشف.

$$D_{\text{Po}^{218}} = D_{\text{Po}^{214}} = \frac{C}{4}r\left[\frac{h}{r+h}\right]\cos \theta_c \quad \text{على جدران الحجرة} \quad \dots\dots\dots(8-4)$$

$$D_{\text{Po}^{218}} = D_{\text{Po}^{214}} = \frac{C}{4}r\left[\frac{h}{r+h}\right]\left(\cos \theta_c \frac{r}{R_r}\right) \quad \text{على وجه الكاشف} \quad \dots\dots\dots(9-4)$$

ج- حساب كثافة فعالية الرادون في العينات

يمكن إيجاد تركيز الرادون في العينات باستخدام العلاقة الآتية
(AL- Bataina *etal.*, 1997)

$$C_s = \sum_{Rn} C_a h t / L \quad \dots\dots\dots(10-4)$$

إذ أن C_s تركيز الرادون داخل العينات بوحدة $Bq.m^{-3}$ ، و C_a تركيز الرادون في الحيز الهوائي بوحدة $Bq.m^{-3}$ ، و \sum_{Rn} ثابت انحلال الرادون ويساوي 0.1814 day، و h ارتفاع الحيز الهوائي ويساوي 9.5 Cm و L سمك العينة وهو بحدود 1.5 Cm تقريباً، و t زمن التشعيع بالأيام 60 يوماً.

كما يمكن إيجاد الفاعلية الإشعاعية A للرادون الناتج من العينات المستخدمة بوحدة Bq وذلك باستخدام العلاقات الآتية:

$$A_{Rn} = C_s \cdot V \quad \dots\dots\dots(11-4)$$

$$V = f r^2 L \quad \dots\dots\dots(12-4)$$

إذ أن V حجم العينة بوحدة m^{-3} ، و r نصف قطر حجرة التشعيع المستخدمة 1.19 Cm.

د- حساب تركيز اليورانيوم

لإيجاد تركيز اليورانيوم لابد من حساب عدد ذرات الرادون N_{Rn} من العلاقة:

$$A_{Rn} = \sum_{Rn} N_{Rn} \quad \dots\dots\dots(13-4)$$

وباستخدام قانون التوازن الإشعاعي المثالي Ideal أو الأبدي Secular equilibrium يتم إيجاد عدد ذرات اليورانيوم في العينات المستخدمة من المعادلة:

$$\sum_U N_U = \sum_{Rn} N_{Rn} \quad \dots\dots\dots(14-4)$$

إذ أن \sum_U ثابت انحلال اليورانيوم ومقداره $4.9 \times 10^{-18} \text{ Sec}^{-1}$. أما وزن اليورانيوم في العينات W_U (gm) فيمكن إيجاده من العلاقة:

$$W_U = \frac{N_U \cdot A_U}{N_{av}} \quad \dots\dots\dots(15-4)$$

إذ A_u العدد الكتلي لليورانيوم ^{238}U و N_{av} تمثل عدد افوكادرو ويساوي $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

ولإيجاد تركيز اليورانيوم في العينات بوحدة ppm نستخدم العلاقة الآتية:

$$C_U (\text{ppm}) = \frac{W_U}{W_s} \quad \dots\dots\dots(16-4)$$

هـ- حساب محتوى الراديوم الفعال

إن محتوى الراديوم الفعال C_{Ra} في العينة هو مقدار ما تحتويه العينة فعليا من عنصر الراديوم الذي ينحل إلى رادون ويحسب بوحدات $Bq.kg^{-1}$ من العلاقة الآتية (Azam *etal.*, 1995)

$$C_{Ra} = \left[\frac{...}{K.T_e} \right] \left[\frac{h.a}{W_s} \right] \dots\dots\dots(17-4)$$

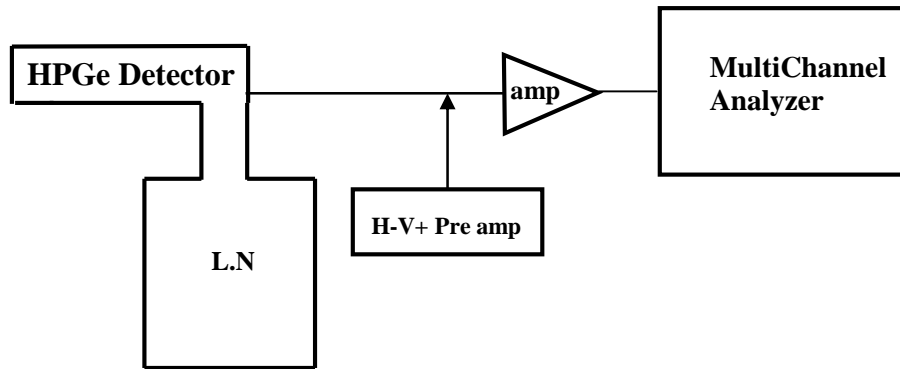
إذ يمثل a المساحة السطحية للعينة، و T_e زمن التعرض (التشيع) الفعال Effective Exposure Time ويعطى بالعلاقة:

$$T_e = [T - \{T_{Rn}\}^{-1} (1 - e^{-\lambda_{Rn}T})] \dots\dots\dots(18-4)$$

إذ يمثل T زمن التشيع الكلي ويساوي 60 يوماً، وقد وجد أن زمن التعرض الفعال يساوي بحدود 54.494 يوم.

3.4 القياسات بتقنية تحليل طيف أشعة كاما واستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe

تعد تقنية تحليل أطياف أشعة كاما من التقانات المهمة والواسعة الاستخدام في الكشف عن العناصر والنوى التي تبعث أشعة كاما، فهذه المحلات لها خواصها المتميزة من حيث قدرة التحليل ودقة النتائج وإمكانية العمل في الطاقات الواطئة، وتتكون المنظومة المستخدمة في هذه التقنية من الأجهزة التالية وكما موضحة في الشكل (2-4)



الشكل (2-4) يوضح منظومة تحليل طيف أشعة كاما

1 - كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة High Purity Germanium Detector

نوعه CANBERRA.85 موصول بقارورة سائل النتروجين لغرض تبريده إلى درجة الحرارة اللازمة للحفاظ على بلورة الكاشف أثناء العمل وتقليل الضوضاء .

2 - مجهز القدرة العالية High Power Supply

يقوم بتجهيز الفولتية اللازمه لتشغيل الكاشف والتي قيمتها 3200 Volt لكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة ويحتوي هذا الجهاز على تدرج للفولتية بين (0 - 5000) Volt.

3 - المضخم الابتدائي Pre Amplifier

يقوم المضخم الابتدائي بتشكيل النبضة المتولدة في الكاشف وذلك بتغيير اتساعها وتقليل التشويش المصاحب لها ويؤدي ذلك إلى تغيير سعتها كما يوفر موائمة الممانعة بين الكاشف والمضخم الرئيسي ويوضع المضخم الابتدائي عادة بالقرب من الكاشف وذلك لأهميته في زيادة النسبة بين النبضة إلى الضجيج Signal-to-Noise Ratio.

4 - المضخم الرئيسي Main Amplifier

يقوم هذا الجهاز بتكبير النبضات الناتجة من المضخم الابتدائي والداخله إليه بقطبية موجبة أو سالبة، كما يقوم بتشكيل النبضة وتقليل الضوضاء فيه وله طرائق إخراج أحادية القطبية Uni. Polar. يمتلك المضخم الرئيسي علاقة خطية بين سعة النبضة الداخلة وسعة النبضة الخارجة ويطلق على النسبة بين سعة النبضة الخارجة إلى سعة النبضة الداخلة بالربح Gain، ويمكن تغيير الربح بتغيير عامل التوهين Attenuation Factor كما يحتوي الجهاز على مفتاح لتغيير الثابت الزمني Time Constant في المدى (0.04 – 10) Sec وقد تم اختيار الثابت الزمني 1 Sec.

5 - محلل الأطياف متعدد القنوات (MCA) نموذج (CANBERRA – 85)

إن محلل الأطياف المستخدم في هذه الدراسة هو جهاز متقدم يستخدم لتحليل أطياف أشعة كاما مجهز من شركة CANBERRA يحتوي على 4096 قناة وعلى ثلاث حاسبات مايكروية Micro Processors إذ تسيطر الحاسبات على ذاكرته ووحدة المعلومات فيه ووحدة معالجة الإشارة ووحدة إدخال المعلومات و إخراجها بين الجهاز والأجهزة المستخدمة. الميزة الرئيسية لهذا الجهاز قدرته العالية على تحليل أطياف أشعة كاما المعقدة .

ويمكن تصنيف استخدامات محلل الأطياف إلى ثلاثة أصناف رئيسه هي تحليل سعة النبضة Pulse Height Analysis وتدرج القنوات المتعددة Multi Channel Scaling وقائمة الخزن List Storage. إذ يقوم المحلل متعدد القنوات باستلام النبضات الخطية من المضخم الرئيسي ويصنفها حسب سعتها ومن ثم خزنها في مواقع تعتمد على السعة ثم عرضها بشكل صوره مرئية لطيف الإشعاع. يثبت مؤشر المميز السفلي LLD عند قيمه صغيره وذلك ليتم حجب النبضات الخلفية الإشعاعية والضوضاء بينما يوضع مؤشر المميز العلوي ULD عند أقصى قيمة

له وذلك لكي يشمل اغلب النبضات وينظم زمن الإخماد Dead Time من خلال مفتاح الريج بحيث يكون اقل ما يمكن.

إن لوحة إظهار المعلومات في محلل الأطياف لنموذج 85 قادرة على إظهار أي جزء مختار من ذاكرة خزن المعلومات عند الحاجة وفضلا عن ذلك يمكن أن تزودنا هذه اللوحة بالمعلومات الآتية:

أ - التدرج العمودي (VFS) Vertical Full Scale

ب - ميزة توسيع الطيف Expand And Window Functions

ج - مناطق اهتمام متعددة Regions of Interest (ROIs) مثل ميزة التراكب Overlap Function بين طيفين مختارين وميزة النقل Transfer Function لنقل المعلومات من ذاكرة إلى أخرى فضلا عن إمكان تحريك المؤشرين إلى أية منطقة اهتمام يتطلب دراستها بوساطة ميزة الدلالة Index Function.

1.3.4 معايرة الطاقة Energy calibration

من الميزات الرئيسة لمحلل الأطياف هي قدرته على تحويل رقم القناة إلى وحدة عيارية (طاقة أو زمن) مكافئة، ويمكن اختيار الوحدة العيارية المطلوبة من خلال عملية المعايرة. إن معايرة المطياف باستخدام عناصر مشعة عيارية ذات نطاق طاقي مناسب تمكننا من تحديد الذروات وقياسها للعينات المدروسة وقد استخدمت لعملية المعايرة مصادر قياسية تم الحصول عليها من الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA في فيينا مثل Co^{60} الذي يمتلك خطين كاميين عند (1332, 1170) keV و Cs^{137} عند الطاقة 662 keV وذلك للحصول على مقدار الطاقة لكل قناة (keV / Channel) وقد وجد من خلال طيف العينات التي تم الحصول عليها أن هناك خطوط كامية كثيرة تعود إلى نوى Bi^{214} والناتج من انحلال سلسلة U^{238} ذات طاقات مختلفة (2205, 1765, 1730, 1232, 1121, 609.3) keV. وإن احسن خط تم تمييزه واختياره للمقارنة كان الخط الكامي ذو الطاقة 1765 keV.

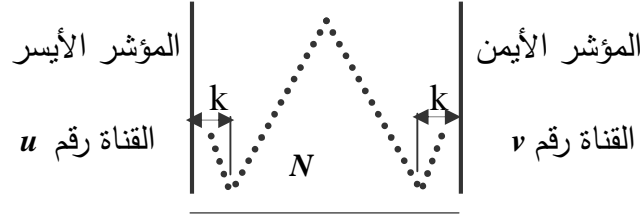
2.3.4 حساب المساحة الحقيقية تحت الذروة Net Area Function

إن دالة المساحة تعطي مجموع العدادات الواقعة بين المؤشرين بعد طرح الخلفية الإشعاعية والتي يمكن تحديدها بدقة إذ أن المساحة الصافية تحت الذروة تساوي:

$$Net.Area = \sum_{a=u}^v Xa - (N/2).(B_1 + B_2) \dots\dots\dots(19-4)$$

إذ يمثل $N = (v - u + 1)$ عدد القنوات و B_1, B_2 الأشعة الخلفية يسار ويمين الذروة. ويبين الشكل (3-4) كيفية حساب المسافة الحقيقية للذروات.

k تمثل عدد نقاط النهاية



الشكل (3-4) مخطط لحساب المساحة الحقيقية تحت الذروة

3.3.4 تحديد تركيز اليورانيوم المنضب في العينات

تتم عملية تحليل طيف العينات قيد الدرس بوزن 10 gm من كل عينه وتجميع الطيف لها لمدة ساعتين وكذلك للعينه القياسية التي وزنها 20 gm وبعد الحصول على قيم المساحة الصافية تحت المنحني للقمم 1765 KeV التي تعود إلى اليورانيوم U^{238} في تلك العينات يتم حساب تركيز اليورانيوم المنضب باستخدام العلاقة الآتية:

$$\frac{A}{A_s} = \frac{w}{w_s} \times \frac{C}{C_s}$$

.....(19-4)

$$C(U^{238}) = \frac{A}{A_s} \times \frac{w_s}{w} \times C_s \quad \text{.....(20-4)}$$

إذ تمثل كلاً من A و A_s المساحة تحت المنحني للعينات والعينة القياسية على التوالي، و C و C_s تركيز اليورانيوم المنضب بوحدات ppm في العينات والعينة القياسية على التوالي و w و w_s وزن العينة والعينة القياسية.

الفصل الخامس
النتائج
والمناقشة

الفصل الخامس

النتائج والمناقشة

من المعروف ان استخدام ذخائر تحتوي على مواد مشعة منها اليورانيوم المنضب في العمليات العسكرية يسبب تلوثاً في المنطقة التي تتعرض للقصف بسبب تحرر ذرات المواد المشعة على شكل غبار والتي تنبعث عند ارتطام القذيفة بالهدف وانتشارها لمسافات تعتمد على عدد من العوامل البيئية فضلاً عن حجم جزيئات الغبار ودرجة الحرارة، فان عملية تحديد التلوث باليورانيوم المنضب (DU) في العينات البيئية تكون صعبة وذلك لأن DU و U^{235} و U^{238} تكون موجودة أو ممزوجة بنسب مختلفة في العينات.

في دراستنا الحالية تم استخدام تقنيتين: الأولى تقنية كاشف الأثر النووي CR-39 واستخدام حجرات زجاجية أسطوانية الشكل وبأبعاد محددة لغرض تشيع الكاشف وان استخدام مثل هذه الحجرات يتطلب حساب ثابت الانتشار K الذي يعتمد على الأبعاد الهندسية للحجرة المستخدمة ومدى الجسيمات المشحونة والزوايا الحرجة للكاشف المستخدم. كما إن اختيار أنصاف أقطار الحجرات المستخدمة والمسافة بين العينات وسطح الكاشف اعتمد استناداً إلى المعادلات الرياضية المذكورة سابقاً والتي تم بموجبها تحديد تلك الأبعاد. وعليه فقد اعتمدنا حجرات أسطوانية نصف قطرها 1.19 Cm ووجدنا ان قيمة K تساوي 0.402 Cm أو $2.084 \text{ Tr.Cm}^{-2}.\text{hr}^{-1} / \text{Bq.m}^{-3}$ أو $0.0348 \text{ Tr.Cm}^{-2}.\text{d}^{-1} / \text{Bq.m}^{-3}$

يبين الجدول (1-5) رموز العينات وتوزيعها على المناطق التي أخذت منها العينات كما ويبين كثافة آثار جسيمات ألفا وتركيز الرادون في الحيز الهوائي وتركيز الرادون داخل العينات. إذ تم تثبيت الحيز الهوائي للحجرات الأسطوانية المذكورة من خلال تثبيت الكاشف على بعد 9.5 Cm من العينات والتي كانت كتلة كل منها 5 gm .

كما ويلاحظ من الجدول المذكور أن كثافة الآثار المسجلة في الكاشف تتراوح بين (2339-5380) Tr.Cm^{-2} بعد طرح الخلفية الإشعاعية Back ground والتي كانت بالمعدل تساوي 217 Tr.Cm^{-2} .

وكذلك نلاحظ من الجدول (1-5) أن تركيز الرادون في الحيز الهوائي للحجرة الأسطوانية يتراوح بين اقل قيمة $1.121 \times 10^3 \text{ Bq.m}^{-3}$ لعينة D من منطقة حقل الرميثة الشمالي وأعلى قيمة $2.582 \times 10^3 \text{ Bq.m}^{-3}$ لعينة W من منطقة محطة خورناج أي بزيادة أكثر من الضعف. علماً أن تركيز الرادون في الحيز الهوائي يعتمد بالأساس على كتلة العينات المستخدمة بثبوت بقية المتغيرات. أما اقل قيمة لتركيز الرادون داخل العينات فقد بلغت $0.773 \times 10^5 \text{ Bq.m}^{-3}$

الجدول (1-5) يوضح رموز العينات وتوزيعها على المناطق المدروسة وكثافة الآثار وتركيز الرادون في الحيز الهوائي وداخل العينات

| كثافة فعالية الرادون داخل العينات $C_s (Bq.Kg^{-1})$ | كثافة فعالية الرادون داخل العينات $C_s (Bq.m^{-3}) \times 10^5$ | كثافة فعالية الرادون في الحيز الهوائي $C_a (Bq.m^{-3}) \times 10^3$ | كثافة الآثار $(Tr.Cm^{-2})$ | رمز العينة | أسم المنطقة |
|--|---|---|--------------------------------|---------------|----------------|
| 216.8 | 1.624 | 2.356 | 4910 | A | حقل |
| 138.6 | 1.038 | 1.506 | 3138 | B | الرميلة |
| 164.6 | 1.234 | 1.790 | 3730 | C | الشمالي |
| 103.2 | 0.773 | 1.121 | 2337 | D | |
| 163.0 | 1.221 | 1.771 | 3690 | E | |
| 153.6 | 1.151 | 1.670 | 3480 | F | مفرق |
| 125.0 | 0.937 | 1.360 | 2833 | G | صفوان |
| 142.0 | 1.064 | 1.543 | 3215 | H | أم قصر |
| 139.0 | 1.041 | 1.510 | 3140 | I | |
| 168.0 | 1.259 | 1.826 | 3805 | J | |
| 137.0 | 1.026 | 1.488 | 3100 | K | كديره |
| 179.4 | 1.343 | 1.948 | 4060 | L | العظمى |
| 129.4 | 0.969 | 1.406 | 2930 | M | ومطار |
| 173.0 | 1.297 | 1.881 | 3920 | N | الشمالية |
| 184.0 | 1.378 | 1.999 | 4165 | O | المنطقة |
| 186.6 | 1.398 | 2.028 | 4225 | P | بين كديره |
| 231.0 | 1.731 | 2.512 | 5235 | Q | العظمى |
| 229.2 | 1.718 | 2.493 | 5195 | R | ومحطة |
| 189.8 | 1.422 | 2.063 | 4300 | S | خورناج |
| 184.8 | 1.384 | 2.008 | 4185 | T | محطة |
| 170.4 | 1.277 | 1.852 | 3859 | U | خورناج |
| 148.8 | 1.115 | 1.617 | 3370 | V | |
| 237.6 | 1.780 | 2.582 | 5380 | W | الخلفية |
| 234.4 | 1.756 | 2.548 | 5310 | X | |
| 215.0 | 1.611 | 2.337 | 4870 | Y | إشعاعية |
| 9.600 | 0.072 | 0.104 | 217 | Z | |

أو لعينة **D** وأعلى قيمة كانت $1.78 \times 10^5 Bq.m^{-3}$ أو $237.6 Bq.Kg^{-1}$ لعينة **W** وان معدل تركيز الرادون في العينات المستخدمة بلغ $1.302 \times 10^5 Bq.m^{-3}$ أو $173.7684 Bq.Kg^{-1}$.

لقد نشرت المنظمة الدولية للحماية من الإشعاع (ICRP) تحذيرات عن حدود التعرض لغاز الرادون من خلال الحدود المسموح بها وبالقيمة $(200-800) Bq.m^{-3}$ والذي اكدته الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الصحة العالمية، ومن ملاحظة النتائج التي حصلنا عليها نجد ان تركيز غاز الرادون الناتج من العينات قد ارتفع بمعدل عشر مرات عن الحد الطبيعي مما يشير الى خطورة التعامل مع البيئة الجنوبية الملوثة للعراق ومما يؤكد استخدام القذائف الحاوية على اليورانيوم المنضب من قبل قوات التحالف في حرب الخليج الثانية سنة 1991.

اما فيما يخص الجرعة التي يتعرض لها المواطنون من جراء العيش او التعامل مع هذه المناطق الملوثة، فمن خلال حساب الجرعة المكافئة لتراكيز الرادون نجد انها تتراوح بين $53-123 mSv/yr$ والذي هو اعلى من الحدود الطبيعية البالغة $2-20 mSv/yr$ (عشر مرات تقريباً (Abumurad *etal.*, 1994).

أما الجدول (2-5) فيوضح الفاعلية الإشعاعية لغاز الرادون ومحتوى الراديوم الفعال وعدد ذرات اليورانيوم ووزنه وتركيزه في العينات. فقد تراوحت قيم الفاعلية الإشعاعية بين $0.516 Bq$ كأقل قيمة للعينة **D** و $1.188 Bq$ كأعلى قيمة للعينة **W** علماً ان حجم العينات المدروسة كان $V = 6.673 \times 10^{-6} m^3$ تقريباً. أما تركيز الراديوم فقد تراوح بين اقل قيمة $10.437 Bq.Kg^{-1}$ للعينة **D** واعلى قيمة $24.027 Bq.Kg^{-1}$ للعينة **W**.

ومما تجدر الإشارة اليه بهذا الصدد ان دراسة بيئية اجريت من قبل (Saleh and Meqwar, 1995) شملت مناطق (البصرة والزيبر وجبل سنام وحقلي الرميطة الشمالي والجنوبي) اشارت الى ان تراكيز الراديوم تراوحت بين $(62-275) Bq.Kg^{-1}$ وان الفرق بين هذه القيم والقيم التي حصلنا عليها قد يعود الى الفترة الطويلة التي مضت على الحرب والعوامل البيئية من امطار وغبار متراكم على هذه الدبابات والمعدات قد ادى الى انخفاض تراكيز الراديوم في هذه العينات.

اما فيما يخص مناطق اخرى خارج العراق فقد اجريت دراسة من قبل (Azam *etal.*, 1995) في منطقة شمال الهند شملت انواع من مواد البناء المستخدمة في البيوت والمنازل لقياس تراكيز الراديوم فيها، وقد وجد ان تراكيز الراديوم تراوحت بين $(0.289-3.138) Bq.Kg^{-1}$ ومن ملاحظة النتائج التي حصلنا عليها في بحثنا نجد ان تراكيز

الجدول (2-5) يوضح الفاعلية الإشعاعية لغاز الرادون ومحتوى الراديوم الفعال وعدد ذرات اليورانيوم ووزنه وتركيزه في العينات

| رمز العينة | الفاعلية الإشعاعية للرادون $A_{Rn} (Bq)$ | محتوى الراديوم الفعال $C_{Ra} (Bq.Kg^{-1})$ | عدد ذرات اليورانيوم في العينات $N_U \times 10^{17}$ | وزن اليورانيوم في العينات $W_U (gm) \times 10^{-6}$ | تركيز اليورانيوم في العينات $C_U (ppm)$ |
|---------------|---|---|--|---|---|
| A | 1.084 | 21.928 | 2.212 | 87.541 | 17.49 ± 0.25 |
| B | 0.693 | 14.014 | 1.414 | 55.902 | 11.18 ± 0.20 |
| C | 0.823 | 16.658 | 1.680 | 66.418 | 13.28 ± 0.21 |
| D | 0.516 | 10.437 | 1.033 | 40.839 | 8.170 ± 0.17 |
| E | 0.815 | 16.479 | 1.663 | 65.746 | 13.15 ± 0.21 |
| F | 0.768 | 15.541 | 1.567 | 61.951 | 12.39 ± 0.21 |
| G | 0.625 | 12.652 | 1.276 | 50.446 | 10.09 ± 0.19 |
| H | 0.710 | 14.358 | 1.440 | 56.930 | 11.39 ± 0.20 |
| I | 0.695 | 14.023 | 1.400 | 55.348 | 11.07 ± 0.20 |
| J | 0.840 | 16.993 | 1.710 | 67.604 | 13.52 ± 0.22 |
| K | 0.685 | 13.844 | 1.449 | 57.286 | 11.46 ± 0.19 |
| L | 0.897 | 18.132 | 1.831 | 72.388 | 14.48 ± 0.22 |
| M | 0.647 | 13.085 | 1.320 | 52.186 | 10.44 ± 0.19 |
| N | 0.865 | 17.506 | 1.765 | 69.779 | 13.96 ± 0.22 |
| O | 0.920 | 18.600 | 1.878 | 74.246 | 14.85 ± 0.23 |
| P | 0.933 | 18.868 | 1.904 | 75.274 | 15.05 ± 0.23 |
| Q | 1.155 | 23.379 | 2.357 | 93.183 | 18.64 ± 0.25 |
| R | 1.146 | 23.200 | 2.339 | 92.472 | 18.49 ± 0.25 |
| S | 0.949 | 19.203 | 1.937 | 76.579 | 15.32 ± 0.23 |
| T | 0.924 | 18.690 | 1.886 | 74.562 | 14.91 ± 0.23 |
| U | 0.852 | 17.234 | 1.739 | 68.751 | 13.75 ± 0.22 |
| V | 0.744 | 15.050 | 1.518 | 60.013 | 12.00 ± 0.20 |
| W | 1.188 | 24.027 | 2.424 | 95.832 | 19.17 ± 0.26 |
| X | 1.172 | 23.714 | 2.392 | 94.567 | 18.91 ± 0.25 |
| Y | 1.075 | 21.749 | 2.194 | 86.739 | 17.35 ± 0.24 |
| Z | 0.048 | 0.9690 | 0.098 | 3.8740 | 0.775 ± 0.05 |

الراديويم قد ارتفعت بمعدل عشر مرات تقريباً في المنطقة الجنوبية من العراق بسبب استخدام قذائف اليورانيوم المنضوب في حرب الخليج الثانية سنة 1991.

ومن الجدير بالملاحظة ان تركيز اليورانيوم تراوح بين $8.17 \pm 0.17 \text{ ppm}$ كأقل قيمة للعينة D و $19.17 \pm 0.26 \text{ ppm}$ كأعلى قيمة للعينة W . أما معدل تركيز اليورانيوم لمنطقة حقل الرميلة الشمالي فكان $12.654 \pm 0.2 \text{ ppm}$ ولمنطقة مفرق طريق صفوان-أم قصر كان $11.692 \pm 0.2 \text{ ppm}$ ولمنطقتي كديره العظمى ومطار الشامية كان $13.038 \pm 0.21 \text{ ppm}$ وللمنطقة بين كديره العظمى ومحطة خورناج كان $16.482 \pm 0.23 \text{ ppm}$ وفي منطقة محطة خورناج كان $16.236 \pm 0.23 \text{ ppm}$. كما يبين الجدول أن تركيز اليورانيوم الذي يعود إلى الخلفية الإشعاعية في المختبر مساوياً إلى $0.775 \pm 0.052 \text{ ppm}$ علماً أن الخلفية الإشعاعية لأتربة من مقالع السمنت في باد وش وسنجان في مدينة الموصل تراوحت بين $(0.2-1.2) \text{ ppm}$ (النعيمي، 1997).

أما التقنية الثانية التي استخدمت فهي تقنية تحليل أطياف أشعة كاما المنبعثة من العينات باستخدام كاشف الجرمانيوم عالٍ النقاوة ومحلل الأطياف متعدد القنوات. إن الطريقة التي اعتمدت في تحديد تراكيز اليورانيوم ^{238}U في العينات استندت على مقارنة أطياف أشعة كاما المنبعثة من العينات مع طيف العينة القياسية معلومة التركيز 65 ppm . ومن الجدير بالذكر ان ذروة اليورانيوم الناتجة عن جميع العينات عند الطاقة 1765 keV كانت مطابقة بالموقع (أي بالطاقة) للذروة الناتجة عن العينة القياسية. ومن خلال حساب المساحة تحت الذروة لليورانيوم ^{238}U في العينة القياسية وجد أنها تساوي 637 و 380 للثوريوم ^{232}Th عند الطاقة 2615 keV .

الجدول (3-5) يوضح مساحة ذروة اليورانيوم ^{238}U والثوريوم ^{232}Th للعينات كما ويبين تركيز اليورانيوم فيها ونسبة اليورانيوم إلى الثوريوم علماً ان المساحة تحت الذروة لليورانيوم تتناسب مع تركيزه في العينات. ففي العينة D كان تركيز اليورانيوم $9.74 \pm 1.41 \text{ ppm}$ وهو أقل قيمة وكانت المساحة تحت الذروة للعينة نفسها 48. أما العينة W فكان تركيز اليورانيوم فيها $20 \pm 2.02 \text{ ppm}$ وهو أعلى قيمة وكانت المساحة تحت الذروة للعينة نفسها 98. ومن الجدير بالذكر ان نسبة اليورانيوم إلى الثوريوم في الطبيعة بحدود $(\text{U}^{238}/\text{Th}^{232} = 0.52)$ بينما نلاحظ من الجدول ان هذه النسبة قد أظهرت زيادة لكل العينات تراوحت بين $(0.67-1.25)$ وهو أعلى من النسبة الطبيعية مما يدل على ان هناك إخلال بنسبة $\text{U}^{238}/\text{Th}^{232}$ الطبيعية مما يشير إلى ان قذائف اليورانيوم المنضوب قد استخدمت في قصف المعدات والأهداف العسكرية في حرب الخليج الثانية سنة 1991، وقد أكدت الفحوصات الميدانية التي شملت مناطق منتخبة من جنوب العراق

الجدول (3-5) يوضح المساحة تحت الذروة لليورانيوم U^{238} والثوريوم Th^{232} وتركيز اليورانيوم في العينات ونسبة اليورانيوم إلى الثوريوم

| رمز العينة | المساحة تحت الذروة لليورانيوم U^{238} | المساحة تحت الذروة للثوريوم Th^{232} | تركيز اليورانيوم $C_U (ppm)$ | U^{238}/Th^{232} |
|------------|---|--|------------------------------|--------------------|
| A | 93 | 81 | 18.97 ± 1.96 | 1.14 |
| B | 59 | 67 | 12.04 ± 1.56 | 0.88 |
| C | 72 | 90 | 14.64 ± 1.72 | 0.80 |
| D | 48 | 71 | 9.790 ± 1.41 | 0.67 |
| E | 70 | 82 | 14.28 ± 1.70 | 0.85 |
| F | 67 | 80 | 13.67 ± 1.67 | 0.83 |
| G | 58 | 61 | 11.83 ± 1.55 | 0.95 |
| H | 63 | 50 | 12.85 ± 1.61 | 1.26 |
| I | 62 | 59 | 12.65 ± 1.60 | 1.05 |
| J | 70 | 59 | 14.28 ± 1.70 | 1.18 |
| K | 60 | 58 | 12.24 ± 1.58 | 1.03 |
| L | 75 | 84 | 15.30 ± 1.76 | 0.89 |
| M | 57 | 68 | 11.63 ± 1.54 | 0.83 |
| N | 71 | 57 | 14.48 ± 1.71 | 1.24 |
| O | 76 | 72 | 15.51 ± 1.77 | 1.05 |
| P | 79 | 89 | 16.12 ± 1.81 | 0.88 |
| Q | 97 | 79 | 19.79 ± 2.00 | 1.22 |
| R | 95 | 65 | 19.38 ± 1.98 | 1.46 |
| S | 79 | 55 | 16.12 ± 1.81 | 1.43 |
| T | 78 | 79 | 15.90 ± 1.80 | 0.98 |
| U | 71 | 71 | 14.48 ± 1.71 | 1.00 |
| V | 61 | 53 | 12.44 ± 1.59 | 1.15 |
| W | 98 | 78 | 20.00 ± 2.02 | 1.25 |
| X | 95 | 79 | 19.38 ± 1.98 | 1.20 |
| Y | 89 | 63 | 18.16 ± 1.92 | 1.41 |
| Z | 10 | 19 | 1.020 ± 0.32 | 0.52 |

الجدول (4-5) يوضح مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها لكلا التقنيتين

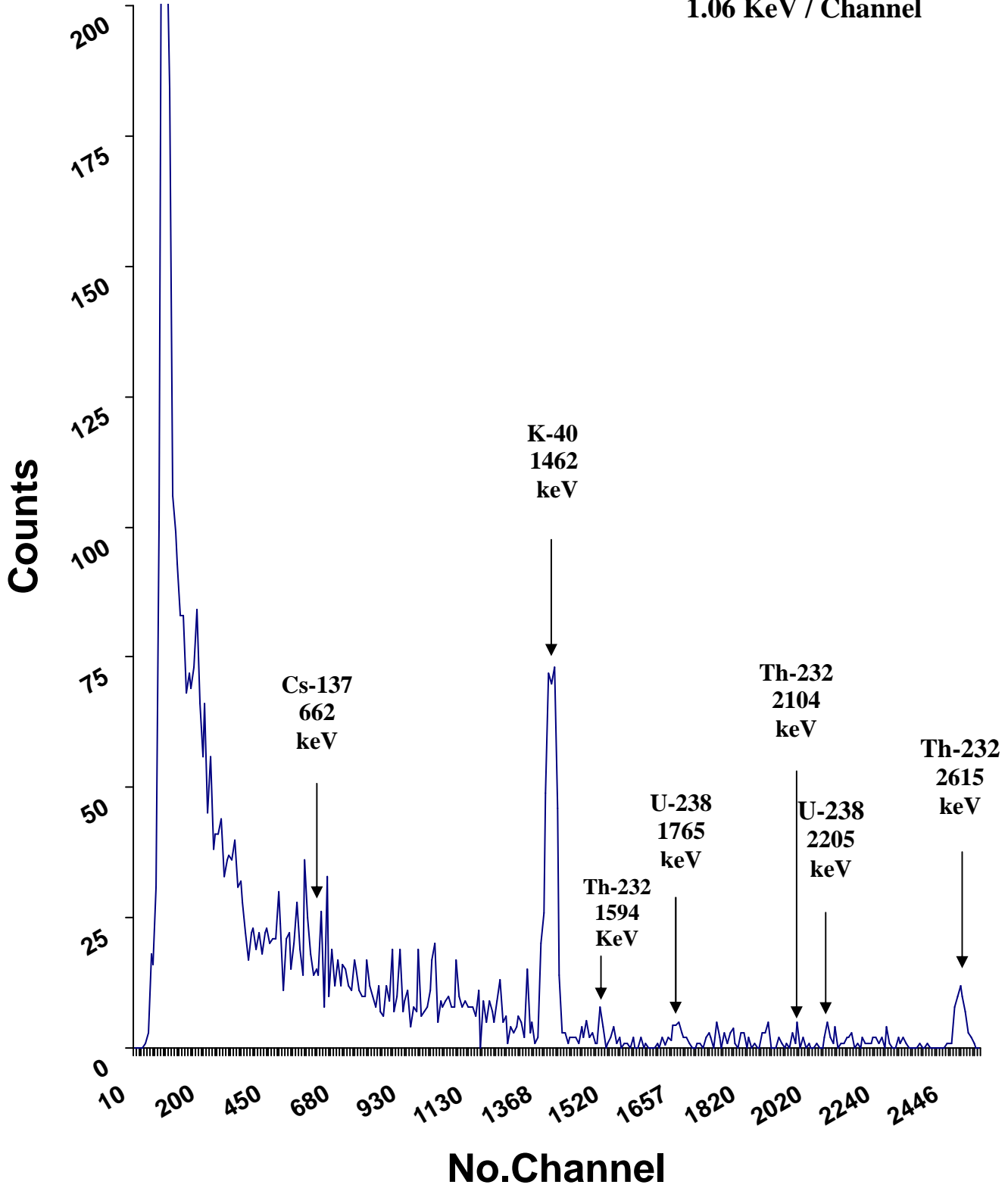
| تركيز اليورانيوم C_U (ppm) بتقنية كاشف HPGe | تركيز اليورانيوم C_U (ppm) بتقنية كاشف CR-39 | رمز العينة |
|--|---|---------------|
| 18.97 ± 1.96 | 17.49 ± 0.25 | A |
| 12.04 ± 1.56 | 11.18 ± 0.20 | B |
| 14.64 ± 1.72 | 13.28 ± 0.21 | C |
| 9.790 ± 1.41 | 8.170 ± 0.17 | D |
| 14.28 ± 1.70 | 13.15 ± 0.21 | E |
| 13.67 ± 1.67 | 12.39 ± 0.21 | F |
| 11.83 ± 1.55 | 10.09 ± 0.19 | G |
| 12.85 ± 1.61 | 11.39 ± 0.20 | H |
| 12.65 ± 1.60 | 11.07 ± 0.20 | I |
| 14.28 ± 1.70 | 13.52 ± 0.22 | J |
| 12.24 ± 1.58 | 11.46 ± 0.19 | K |
| 15.30 ± 1.76 | 14.48 ± 0.22 | L |
| 11.63 ± 1.54 | 10.44 ± 0.19 | M |
| 14.48 ± 1.71 | 13.96 ± 0.22 | N |
| 15.51 ± 1.77 | 14.85 ± 0.23 | O |
| 16.12 ± 1.81 | 15.05 ± 0.23 | P |
| 19.79 ± 2.00 | 18.64 ± 0.25 | Q |
| 19.38 ± 1.98 | 18.49 ± 0.25 | R |
| 16.12 ± 1.81 | 15.32 ± 0.23 | S |
| 15.90 ± 1.80 | 14.91 ± 0.23 | T |
| 14.48 ± 1.71 | 13.75 ± 0.22 | U |
| 12.44 ± 1.59 | 12.00 ± 0.20 | V |
| 20.00 ± 2.02 | 19.17 ± 0.26 | W |
| 19.38 ± 1.98 | 18.91 ± 0.25 | X |
| 18.16 ± 1.92 | 17.35 ± 0.24 | Y |
| 1.020 ± 0.32 | 0.775 ± 0.05 | Z |

من قبل عدد من الباحثين الأجانب والعراقيين وجود زيادة في تراكيز اليورانيوم عن الحد الطبيعي للخلفية الإشعاعية في أترية تلك المواقع حتى بعد مرور عقد من الزمن على انتهاء الحرب. ومن المتوقع ان تزداد الأوضاع الصحية والبيئية سوءاً في العراق نتيجة لاستخدام ذخائر اليورانيوم المنضب إذ ان عمره النصفى يساوي 4.5 مليار سنة وستبقى تأثيراته الضارة لأجيال عديدة متتالية.

أما مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من التقنيتين المستخدمتين فإنها موضحة بالجدول (4-5) والتي تشير إلى أنها متقاربة وان الاختلاف القليل يمكن ان يعزى إلى الأخطاء التي ترافق القياسات التجريبية. وختاماً لابد من الإشارة إلى ان تراكيز اليورانيوم وكذلك نسبة اليورانيوم إلى الثوريوم قد اختلف بشكل واضح عن القيم والنسب الطبيعية المعروفة والتي تم شرحها في أعلاه. ان طيف العينات التي تم تحليلها موضح في الأشكال التالية، إذ يمثل الشكل (1-5) الطيف العائد للخلفية الإشعاعية داخل المختبر والشكل (2-5) يوضح الطيف الناتج عن العينة القياسية ويبين الشكل (3-5) طيف العينة W والتي تحتوي على أعلى تركيز لليورانيوم U^{238} أما الشكل (4-5) فيوضح طيف العينة Q والشكل (5-5) يوضح طيف العينة S أما الشكل (6-5) فيمثل طيف العينة W مقارن مع طيف الخلفية الإشعاعية. كما وتشير الأشكال المبينة ظهور ذروات عنصري السيزيوم Cs^{137} والبوتاسيوم K^{40} عند الطاقات 662 keV و 1462 keV على التوالي في جميع العينات والتي تعود إلى الخلفية الإشعاعية في المناطق المدروسة.

Back Ground

U-238 = 1.02 ppm
1.06 KeV / Channel



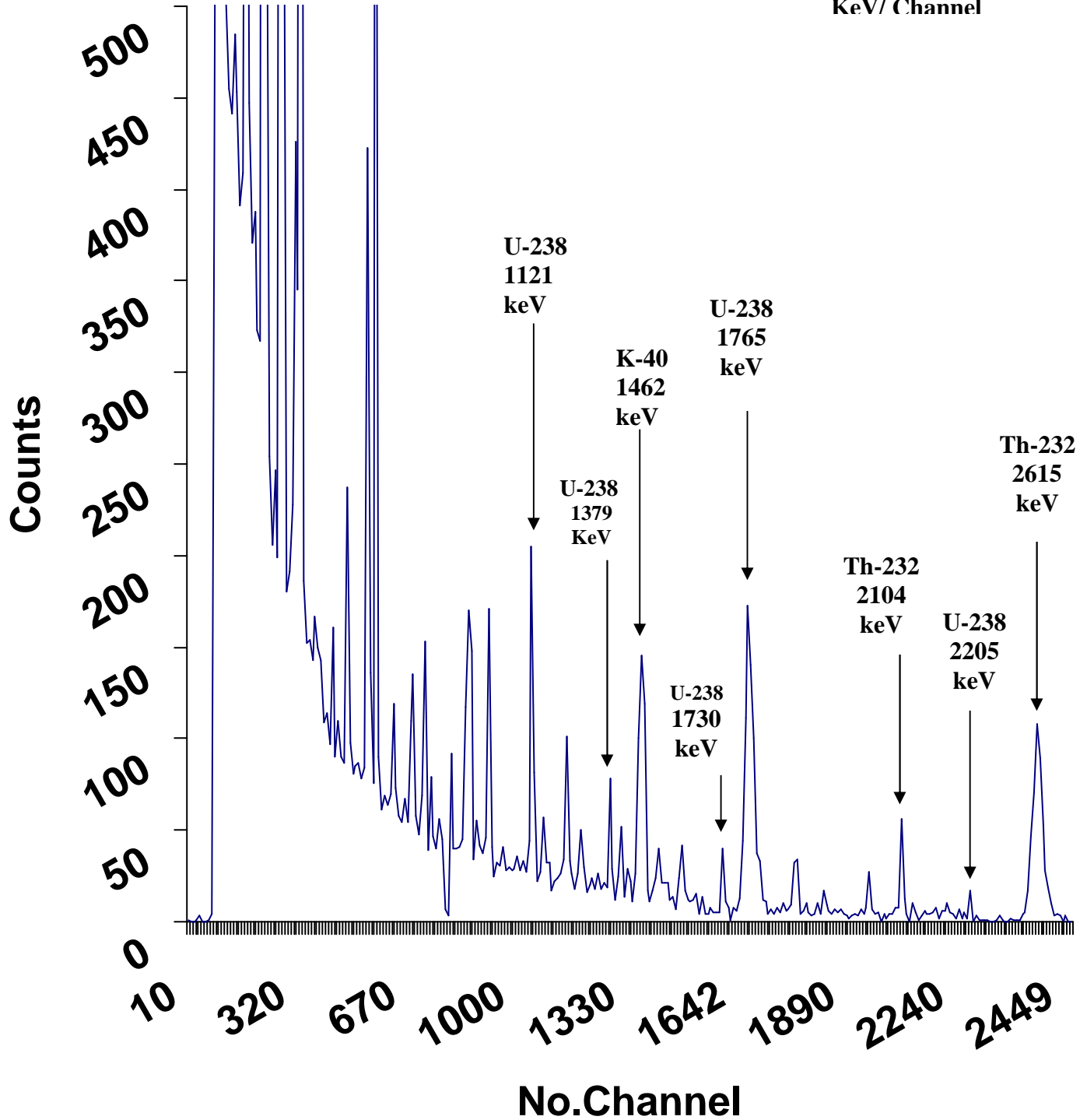
الشكل (1-5) يوضح طيف اشعة كاما العائد للخلفية الاشعاعية داخل

Standard source

U-238 = 65 ppm

1.07

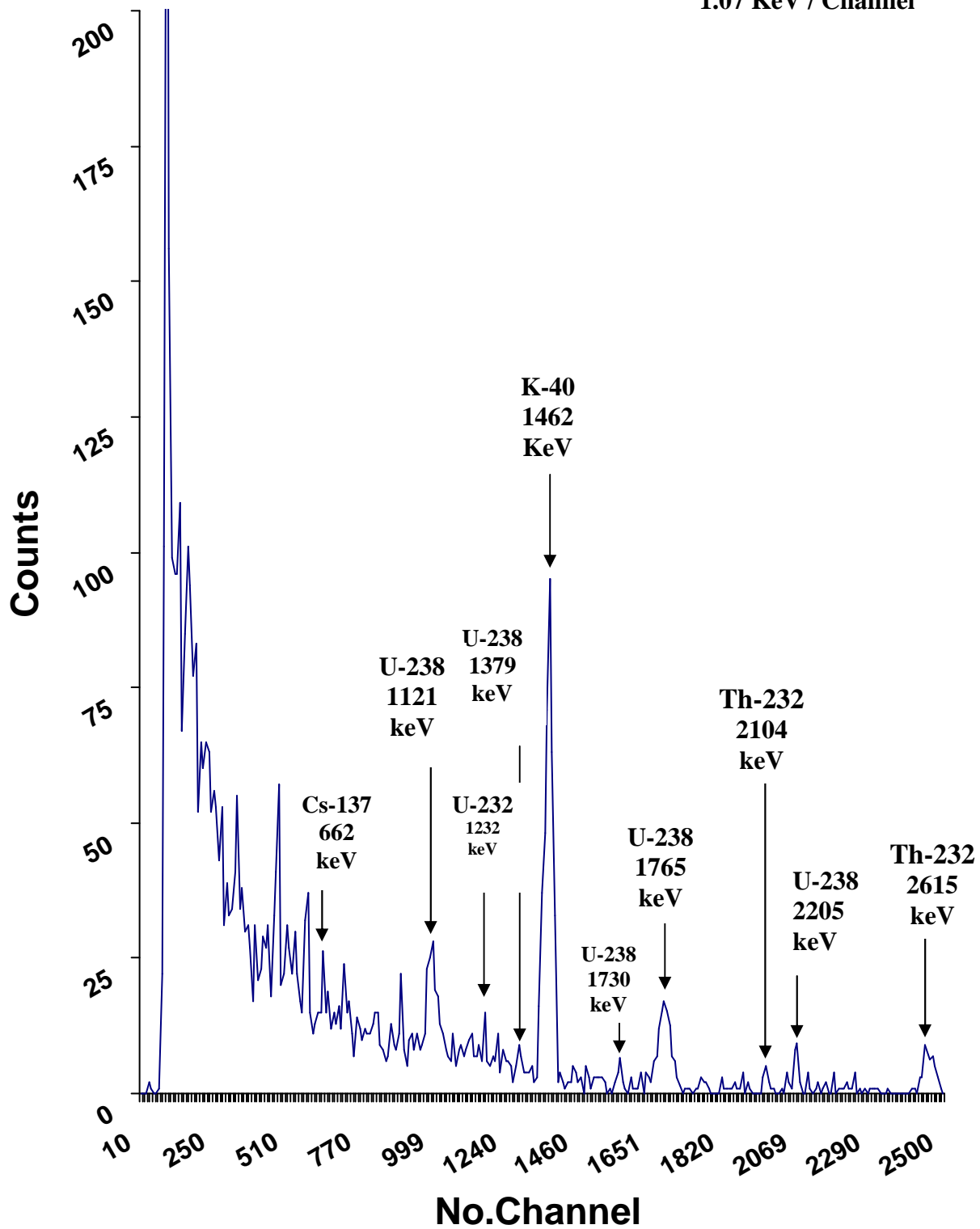
KeV/ Channel



الشكل (2-5) يوضح طيف اشعة كاما الناتج عن العينة القياسية

Sample.W

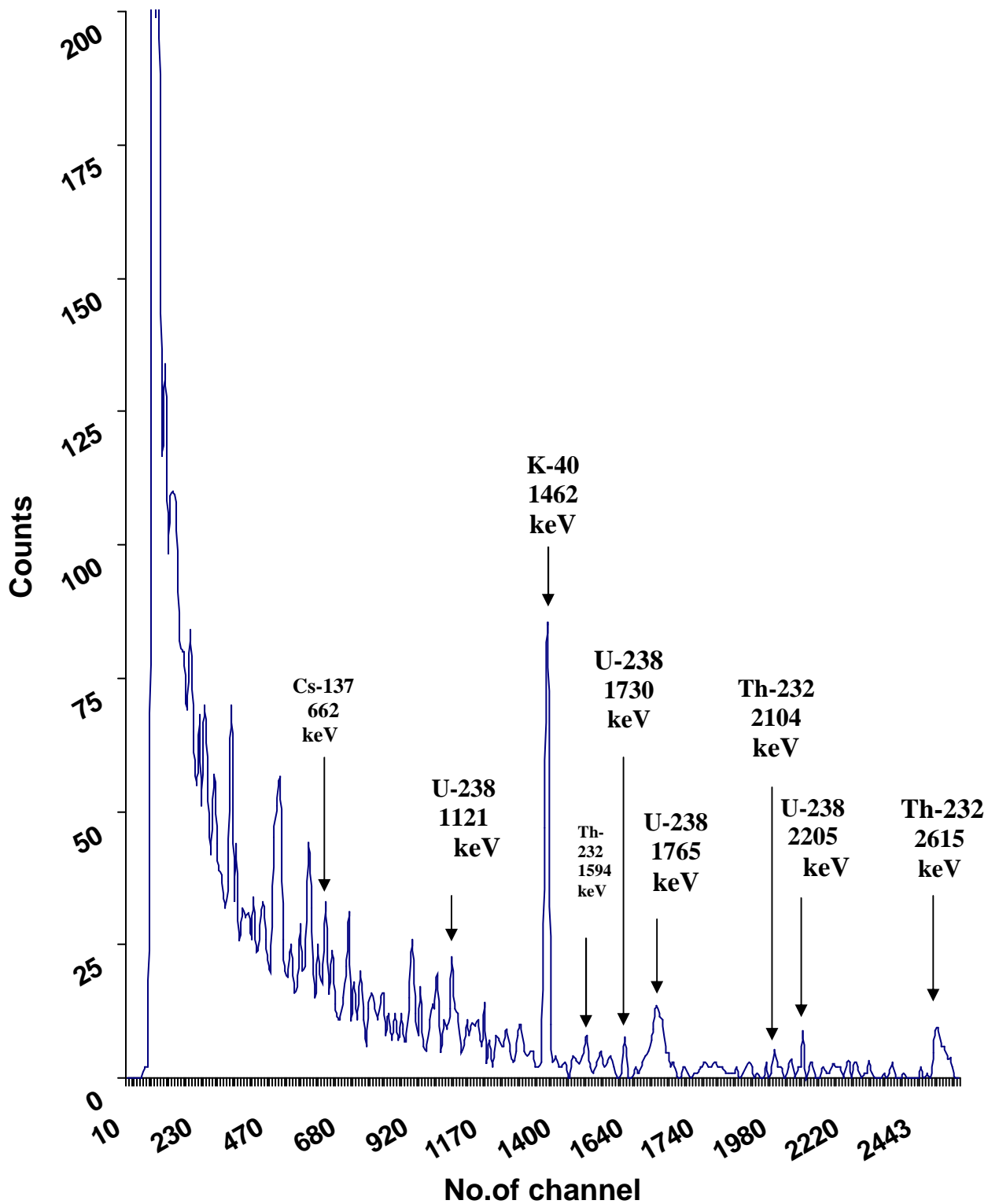
U-238 = 20 ppm
1.07 KeV / Channel



الشكل (3-5) يوضح طيف اشعة كاما العائد للعينة W

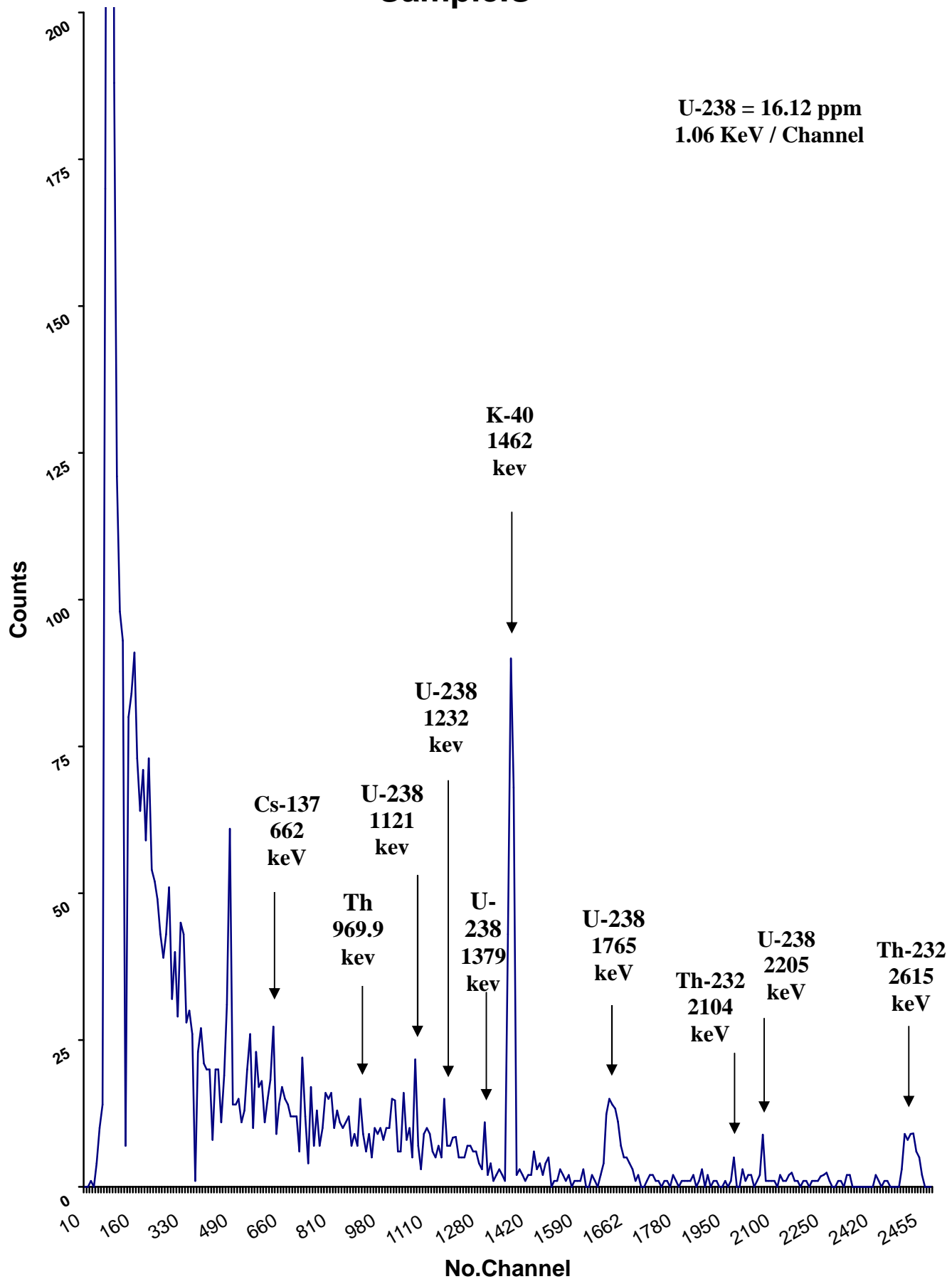
Sample.Q

U-238 = 19.79 ppm
1.06 keV / Channel



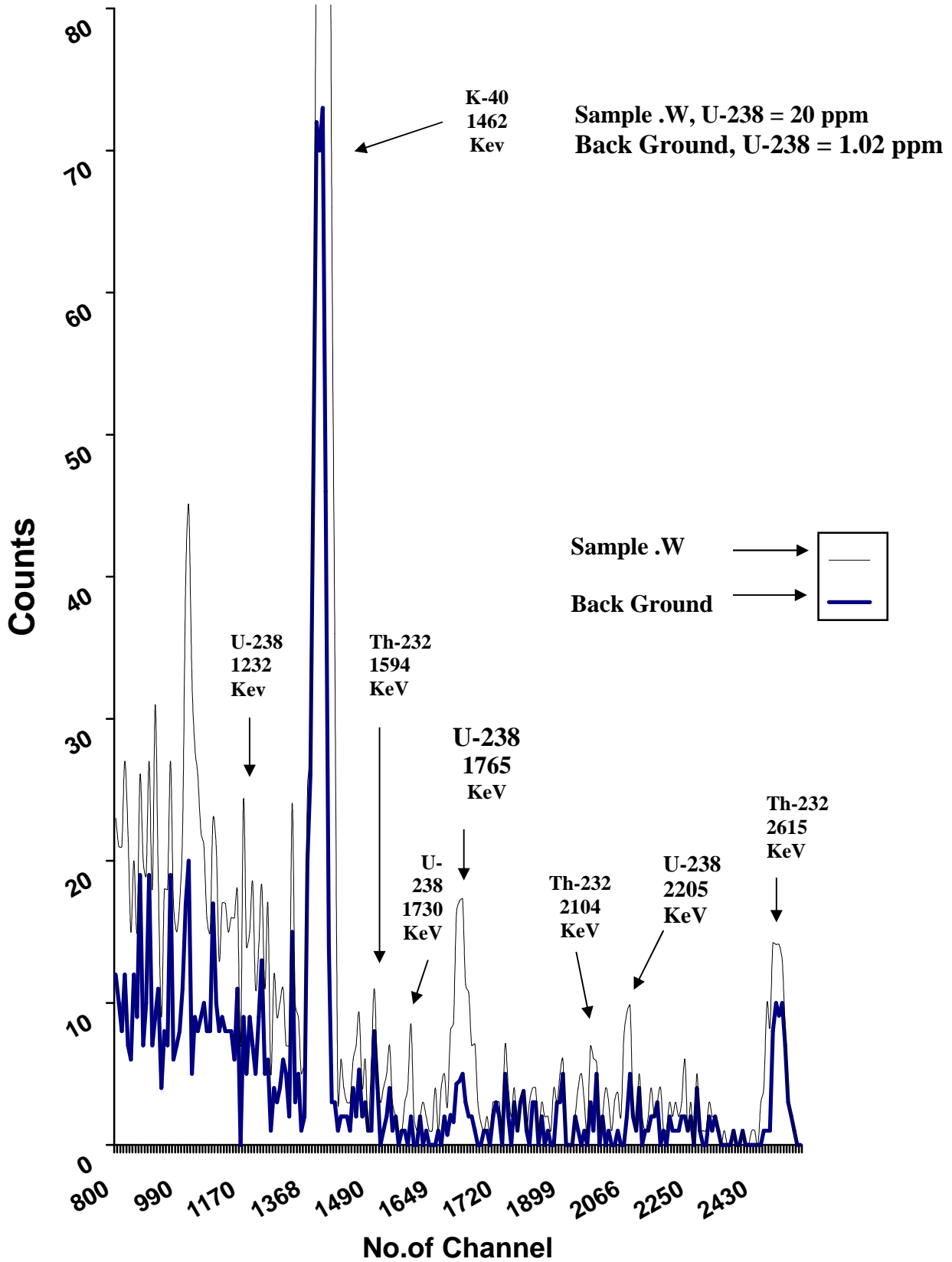
الشكل (4-5) يوضح طيف اشعة كاما العائد للعينة Q

Sample.S



الشكل (5-5) يوضح طيف اشعة كاما العائد العينة S

Sample.W + Back Ground



الشكل (6-5) يوضح طيف اشعة كاما العينة W مع طيف اشعة كاما للخلفية الإشعاعية

الاستنتاجات

- من خلال النتائج التي تم الحصول عليها في الدراسة الحالية يمكن استنتاج الاتي :
1. ارتفاع تراكيز الرادون الناتج من العينات بمعدل عشر مرات عن الحد الطبيعي البالغ $200-800 \text{ Bq.m}^{-3}$ مما ادى الى زيادة الجرعة المكافئة لتصل الى قيمة تتراوح بين $(53-123) \text{ mSv/yr}$ وهو اعلى من الحد الطبيعي المسموح به البالغ $(2-20) \text{ mSv/yr}$.
 2. ارتفاع تراكيز الراديوم في العينات بمعدل عشر مرات عن الحدود الطبيعية والذي يعزى الى استخدام قذائف اليورانيوم المنضب.
 3. ان تراكيز اليورانيوم المنضب في العينات قيد الدرس والتي تراوحت من $(8 \text{ ppm}$ إلى $20 \text{ ppm})$ هي اعلى من الحد الطبيعي للخلفية الاشعاعية $(0.2-1.2) \text{ ppm}$ باكثر من (20) مرة تقريبا مما يشير الى ان تلوثا إشعاعيا قد ادخل إلى البيئة العراقية .
 4. ان نسبة $(\text{U}^{238} / \text{Th}^{232})$ في العينات قد أظهرت زيادة عن النسبة الطبيعية داخل المختبر البالغة $\text{U}^{238} / \text{Th}^{232} = 0.52$ مما يشير إلى استخدام قذائف حاوية على اليورانيوم المنضب.
 5. ان التقنيتين اللتين استخدمتا في هذه الدراسة والتي أعطت نتائج متقاربة أكدت إمكانية استخدامها في الكشف عن العناصر المشعة حتى ذات التراكيز الضئيلة وفي الدراسات البيئية وبكفاءة جيدة .
 5. ان تقنية كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة تفضل على تقنية كاشف الاثر النووي الصلب CR-39 في القياسات السريعة اما في المناطق التي لا تتوفر فيها الظروف الملائمة كالمناطق النائية والتي لا تتوفر فيها القدرة الكهربائية فان تقنية كاشف الاثر النووي CR-39 تكون مفضلة.
 6. على الرغم من مرور اكثر من عقد من الزمن على حرب الخليج الثانية سنة 1991 فقد تم الكشف في الدراسة الحالية ودراسات سابقة عن وجود نسب غير قليلة من اليورانيوم المنضب مما يؤكد ان التلوث الإشعاعي سوف يستمر لفترة طويلة مرتبطة بالعمر النصف الطويل لليورانيوم .

المقترحات :

1. بالنظر لاستمرار التلوث الإشعاعي في المناطق التي تراكمت فيه بقايا ومخلفات المعدات العسكرية التي تعرضت للقصف في سنة 1991 كما جاء في الفقرة (4) من الاستنتاجات نقترح القيام بردم تلك البقايا في مقابر بعيدا عن المناطق السكنية وبعيدا عن المياه الجوفية .
2. إجراء دراسات دورية بيئية تشمل السكان والمياه الجوفية والنباتات والثروة الحيوانية في المحافظات الجنوبية من العراق .

المصادر العربية:

ألاحمد، خالد عبيد (1993)، مقدمة في الفيزياء الصحية، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل.

الجبوري، عبد الوهاب محمد (2001)، حجم وتأثيرات الأسلحة الإشعاعية المستخدمة ضد العراق خلال العدوان الثلاثيني، مجلة أم المعارك العدد (25)، السنة السابعة، ص 141-123.

الجبوري، مازن احمد (1999)، تحديد تراكيز الرادون Rn^{222} في أنواع مختلفة من الشاي، رسالة ماجستير، كلية العلوم، قسم الفيزياء، جامعة الموصل.

الجزراوي، عصام متي (1999)، تحديد تراكيز الرادون Rn^{222} في أنواع مختلفة من التبوغ المحلية والأجنبية، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل.

الجميل، فراس محمد (1996)، الكشف عن اليورانيوم المنضب في أترية من مواقع عمليات أم المعارك باستخدام كاشف CR-39، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل.

العبايجي، رنا هشام (2000)، تحديد تراكيز الراديوم Ra^{226} في الأسنان اللبنية والدائمة باستخدام كاشف CR-39، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل.

الكعبي، محمد عبيد (1990)، دراسة خصائص كاشف الأثر النووي CR-39، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة البصرة.

المقدادي، كاظم (2003)، الكشف عن اليورانيوم الناضب مهمة إنسانية آنية ملحة.
Email: mukdadi@hotmail.com

النعيمي، سعيد حسن سعيد (1997)، الكشف عن الأشعة النووية الضعيفة في بعض مواد البناء العراقية، مجلة التربية والعلم، العدد (27).

الوندأوي، حسين (1999)، الرادون وتأثيره على البيئة والانسان، مجلة الذرة والتنمية، المجلد (9) ، العدد 3 . ص 38-41 .

سعيد، علي عبد الحسين (1983)، الكيمياء الإشعاعية، مطبعة جامعة البصرة.

عزوز، عاصم عبد الكريم (1982)، مقدمة في الفيزياء النووية (مترجم)، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل.

عقراوي، هناء نافع (2002)، تحديد تراكيز اليورانيوم في عدد من معاجين الأسنان باستخدام كاشف CR-39، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل.

عمر، نسيم سالم (1999)، القشط الكهروكيميائي وتأثير شدة المجال الكهربائي المتناوب على الاستجابة الطاقية لكاشف الأثر النووي البلاستيكي CR-39 لجسيمات ألفا، رسالة ماجستير، كلية التربية، جامعة الموصل.

محمد، اكرم عزيز (1993)، كيمياء اللدائن، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل.

محيميد وسليمان، احمد خلف، وفاء علي (1995)، استخدام كواشف الأثر النووي ذات الحالة الصلبة كمطياف لجسيمات ألفا، (بحث)، كلية التربية، قسم الفيزياء، جامعة الموصل.

نجم، عمار عبد الرحمن (1997)، الكواشف الصلبة للأثر النووي واستخداماتها، مجلة الذرة والتنمية، العدد (3)، المجلد (9).

المصادر الأجنبية:

Abu murad K. M., Kullab M. K., Al bataina B. A., Ismail A. M. and Lehlooh A. D., (1994). "*Estimation of Radon Concentrations Inside Houses in Some Jordanian Regions*". Mu'tah journal for research and studies. Vol. 9. No. 5.

Abu jarad F. and Fremlin J. H., (1979). In 10 th. Int. Conf. on SSNTDs. (1980), Lyon pergamon press p (599-607).

Adams F. and Dams R., (1970). "*Applied Gamma Ray Spectrometry*". Printed in Great Britain by Biddies Ltd. Guilford, Surrey. Vol. 41.

AL-Azzawi Souad., Ma'aruf Baha., Abdul-Rahman M., AL-Saji M., Rashed W. and Meqwar A. j., (1999). "*Environmental Pollution Resulting from the Use of Depleted Uranium Weaponry Against Iraq During 1991*". Search.

AL-Bataina B. A., Ismail A. M., Kullab M. K, Abumurad K. M. and Mustafa H., (1997). "*Radon Measurements in Different Types of Natural Waters in Jordan*". Radiat. Meas. Vol. 28, No. 1-6, pp (591-594).

Anagnostakis M. J., Hinis E. P., Karangelos D. J., Peteropoulos N. P., Rouni P. K., Simopoulos S. E. and Zunic Z. S., (2001). "*Determination of Depleted Uranium in Environmental Samples by Gamma Spectroscopic Techniques*". Archive of Oncology; 9(4): 231-6 Greece.

- Azam, A., Naqvi A. H. and Srivastava D. S., (1995). “*Radium Concentration and Radon Exhalation Measurements Using LR-115 Type II Plastic Track Detectors*”. Nucl. Geophys. Vol. 9, No. 6 pp (653-657).
- Barillon R., Klein D., Chambaudet A. and Devillarade C., (1993). “*Comparison of Effectiveness of three Radon Detectors (LR-115, CR-39 & Silicon Diode Pin) placed in Cylindrical Device - Theory and Experimental Techniques*”. Nucl. Track. Radiat. Meas. 22, 1-4, pp. (281-282).
- Barillon R., Klein D., Chambaudet A., Membrey F. and Fromm M., (1991). “*Additional uses of polymeric Nuclear Track Detectors (CR-39 and LR-115) for Measuring Radon Emanation*”. Nucl. Tracks Radiat., Vol. 19, No. 5, 1-4. pp (291-295).
- Barioni A., Manso Guevara M. V. and Arruda-Neto J. D. T., (2001). “*The Concentration of Uranium in Sao Paulo Citizens' Diet; Results*”. Institute of Fisica. Universidade de Sao Paulo.
- Bertolini G. and Coche A. E., (1968) “*Semiconductor Detectors*”. Elsevier North Holand, Amsterdam.
- Bikit I. S., Slivika J. M., Kramar M. D., Veskovic M. J., Conkic L. U., Varga E. Z., Curcic S. M. and Mrda D. S., (2001). “*Determination of Depleted Uranium at the Novi Sad Low-Level Laboratory*”. Archive of Oncology; 9(4): 241-3. University of Novi Sad, Yugoslavia.

Busby C., (2001). “*Hot News from Iraq*”. LLRC Journal Radioactive Times. Vol.4 No.2.

CANBERRA, Canberra Laboratory for Nuclear Sciences, (1978). By Canberra Industries, Inc. Meriden, Ct. Printed in USA.

Cartwright B. G. and Shirk E. K., (1978). “*A nuclear Track Recording Polymer of Unique Sensitivity and Resolution*”. Nucl. Inst and Meth. 153:pp (457-460).

Chakaravati S. K. and Nand Lal Nagpaull K. K., (1979). Proc. 10 th. Int. Conf. (1980) Pergamon press p (701-715).

CHR, Commission on Human Rights. (2000, July, 31). “*Environmental Pollution Resulting from the Use of Depleted Uranium Missiles During the Aggression Against Iraq*”. Genoa, Switzerland.

CMHCHC, Canada Mortgage and housing Corporation and Health Canada (1997). “*Radon : A guide for Canadian Home Owners*”. Canada.

Durante M., Grossi G. F., Pugliese M. and Gialanella G., (1996) . “*Nuclear Track Detectors in Cellular Radiation Biology*”. Rad. Meas., 26 (2): pp (179 – 186)

Durante M., Grossi G. F., Pugliese M., Manti L., Nappo M. and Gialanella G. (1994). “*Single Charged Particle Damage to Living Cells : A new Method Based on Track Etched Detectors*”. Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Research B 94:pp(251-258).

- Durrani S. A. and Bull R. K., (1987). “*Solid State Nuclear Track Detection*”. Pergamon Press. Oxford.
- Ewan G. T., (1968). “*Semiconductor Spectrometers*”. Progress in Nuclear Techniques and Instrumentation, Vol. 3, F.J.M. Farley, Ed., Elsevier North Holland, New York.
- Fahey Dan., (2000). “*Gulf War Veterans, The U.S Government and Depleted Uranium*”. National Gulf War Resource Center, the Military Toxics Project. March 30, 2000.
- Falk R., Mellander H., Nyblom L. and Ostergren I., (2001). “*Individual Radon Exposure History Measured by an Alpha Track Detector Technique*”. Swedish Radiation Protection Institute (SSI), S-17116 Stockholm.
- Fleicher R. L. and Morgo – Campero, (1978). “*Mapping of Integral Radon Emanation for Detection of Long – Distance Migration of Gasses with in the Earth*”. Techniques and principles, 83, B7, pp.839.
- Fleicher R. L., Price P. B. and Walker R. M., (1965). ANN. Rev. Nucl. Sci. 15.
- Fleischer R. L., Price P. B. and Walker R. M., (1975). “*Nuclear Tracks in Solids Principles and Application*”. University of California Press .

- Fleischer R. L., Price P. B. and Walker R. M., (1965). “*Ion Explosion Spike Mechanism for Formation of Charged – Particle Tracks in Solids*”. J. Appl. Phys, 36 (11): 3645-52 Nov.
- Flesch F., Lancu G., Heinrich W. and Yasuda H., (2001). “*Projectile Fragmentation of Silicon Ions at (490) MeV*”. Proceeding of ICRC.
- Gavshin V. M. and Miroshnichenko L. V., (2000). “*Uranium Concentration in Altered Brown Coals Located Under Burnt Rocks from the Kansk-Achinsk Basin, West Siberia*”. The Journal of Geostandards and Geoanalysis., Vol. 24. No. 2. pp (241-246), Russia. Email: vmg@uiggm.usc.ru.
- Geraldo L. P. and Tanak E. M., (1979). In 10 th. Int. Conf. on SSNTDs. (1980), Lyon pergamon press pp (695-700).
- Virk H. S. and Srivastava A., (2000). “*Modification of Optical, Chemical and Structural Response of CR-39 Polymer by (50) MeV Lithium Ion Irradiation*”. Conf. on Phys. Curu Nanak Der University Amristar 143005, India.
- Henshaw D. L. and Allen J. E., (1994). “*Health Effect of Eternally Deposited Radiation Nuclides*”. University of Bristol, UK.
- Jonsson G., (1991). “*Solid State Nuclear Track Detectors in Radon Measurements in Doors and in The Soil*”. Nucl. Track. Radiat. Meas. Vol. 19. Nos. 1-4, pp (335-338).

- Khan H. A. and Qureshi I. E., (1996). “*Role of SSNTD’s in Nuclear Physics Research Proceeding of the Pakistan Academy of Science*”. 33 (1-2): pp (19-28).
- Khan A., Sharmak K. C., Versheney A. K., Parasad R. and Tyagi R. K., (1988). “*Radon Estimation in Some India Tobacco, Tea, Tooth powder Using CR-39 Nuclear Track Detector*”. Radiat. Environ. Biophys., 27, 99.pp(233-237).
- Khan H. A., Akber R. A., Ahmed I. and Nedeem K. H., (1980). “*Field Experience about the Use of Alpha Sensitive Plastic Films for Uranium Exploration*”. Nucl. Inst. and Meth., 137, pp(191-196).
- Knoll G. E., (1979). “*Radiation Detection and Measurement*”. John Wiley and Sons. Inc.
- Liolios T. E., (1996). “*Assessing the Risk from the Depleted, Uranium Weapons Used in Operation Allied Force*”. Dept. of theoretical phys., Univ. of Thessaloniki, Thessaloniki 54006 Greece. Email: theoliol@physics.anth.gr
- Lopez Damacio., (2000, October, 20). “*The Use of Radioactive Material Depleted Uranium U^{238} (DU) As a Military Weapon*”. International Depleted Uranium Study Team (IDUST). 218 Del Banco, Bernalillo, New Mexico, 87004 USA Email: IDUST@swcp.com

- Mann W. B., Ayres R. L. and Garfinkel S. B., (1980). “*Radioactivity and its Measurement*”. 2nd. Ed. Pergamon International Library.
- Nickolaev V. A. and Ilic R., (1999). “*Etched Track Radiometers in Radon Measurements a Review*”. Pergamon Press on Radiat. Meas. 30, 1-13.
- Papastefanon C., Manolopoulou M. and Jaonnidon A., (1995). “*Radon Flux Measurements Along Active Faults*”. Nucl. Geophys. 9(5): pp(481-486).
- Planinic J., Radolic V. and Culo D., (2000). “*Searching for an Earth Quake Precursor: Temporal Variations of Radon in Soil and Water*”. ISSN 1330 . 0008 CODENFIZA E4 , University of Osijek, Croatia.
- Price P. B. and Walker R. M., (1962). “ *Chemical Etching of Charged Particle Track in Solid* ” Appl. Phys.33 (12) : 3407 – 3412 .
- Sadowska B. J. and Sadwski M., (2000) . “*Low Energy Ion Measurements by means of CR-39 Nuclear Track Detectors*”. Conf. On Nuclear Tracks in Solids . Dept. of Plasma Phys. & Technology. Soltan Inst. For Nucl. Studies, 05 – 400 Otwock – Oewierk, Poland.
- Saleh M. M. and Meqwar J. A., (1995). “*The Effects of Depleted Uranium Used by The Allied Forces on Men and The Biosphere in Selected Regions of the Southern Area of Iraq*”. Interview Conducted in Baghdad, Iraq.

Siegbahn Kai., (1965). “*Alpha, Beta and Gamma – Ray Spectroscopy*”. Printed and Bound in Great Britain by W and Mackay limited, Chatham, Vol. 1.

Silk E. C. H. and Barnes R. S., (1959). “*Examination of Fission Fragment Tracks With an Electron Microscope*” *Phil. Mag* 4 : 970 - 971.

Sims Herman., (1998). “*Radon*”. Extension Service, West Virginia University, Agricultural Engineering.

Sinch S. and Vrk H.S., (1987). *Indian Journal of Pure and Applied Physics*. Vol. 25. pp (127-129).

Szydlowski A., Sasowski M., Czyzewski T., Jaskola M. and Korman A., (1999). “*Comparison of Response of CR-39, PM-355 and PM-600 Track Detectors to Low Energy Nitrogen and Helium Ions*”. *Nucl . Inst. and Meth. In Physics Research B* 149: pp(113 – 118).

Tell I., Bensryd I. and Rylander., (1994). “*Geochemistry and Ground Permeability as Determinates of in Door Radon Concentrations in Southern Most Sweden*” *Appl. Geochemistry*, Vol. 9. pp(647-655).

Tsuruta T., (2002). “*Research and Development of Solid State Track Detectors for External Dosimetry in Japan*”. Atomic Energy Research Institute. Japan; p.3b-160.

UIC, Uranium Information Center Ltd. (2002, January). “*What is uranium? How does it work?*”. Melbourne 3001, Australia, Email: Uic@mpx.com.au.

UIC, Uranium Information Center Ltd. (2002, June). “*Uranium and Depleted Uranium*”. Nuclear Issues briefing paper # 53, Melbourne 3001, Australia. E.mail: Uic@mpx.com.au.

WHO, World Health Organization. (2001, April). “*Depleted Uranium*”. Fact Sheet N^o (257) [http://www.who.int/mental-information / radiation / depleted - uranium. htm](http://www.who.int/mental-information/radiation/depleted-uranium.htm) . E.mail: inf@who.int.

Wise Uranium Project. (2002, May, 26). “*Uranium Radiation Properties*”. Vienna.

Yadov J. S., Singh V. P., Gomber K. L. and Sharma A. P., (1980). “*Environmental Effect on Fission Fragment Tracks in SSNTD's*”. Lyon, and Suppl. 2, Nucl. Tracks (eds. H. Franceois), Pergamon, Oxford 199.

ABSTRACT

Twenty five samples distributed over five locations on the south part of Iraq near the unarmed zone between Iraq and Kuwait reaching Saudi Arabia have been studied. The investigated locations includes North field of Rumela, Safwan Um-Kasir crossing, Kdera Al-Uthma, Al-Shamyia airport, the region between Kdera Al-Uthma and Khornaj-station and Kornaj-station region. The aim of this study was the determination of depleted uranium (DU) concentrations in the samples which consist of a mixture of tanks and military equipments remains part of depleted uranium missiles and accumulated soils on the military equipments and around it.

The CR-39 and the HPGe techniques have been used . The obtained results reveal the existence of an increment in the concentrations of the DU ranged between (8.36-20) ppm over the natural concentration limit (0.2-1.2) ppm.

This can be attributed to the use of missiles contain (DU) penetrating projectiles. The measurements by the two techniques reveal also that their results were in good agreement which indicates the possibility of using these techniques in the detection of radioactive trace elements.

**Determination of Depleted Uranium
Concentration In the Remains of Military
Equipment's in a Specified Locations from the
south of Iraq by using CR-39 & HPGe Detectors**

**A Thesis Submitted
By**

Amer Hassan Ali Al-Jubori

**To
The council of the College of Science
In University of Mosul**

**In Partial Fulfillment for the Requirements
Of the degree Of Master of Science**

**In
Physics**

Supervised by

Dr. Munieb Adel Khalil Ibrahim

Assistant Prof.

2003 A.D

1424 A.H
